



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM 184831

# **PEMODELAN KOTA TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN DATA LIDAR DAN FOTO UDARA DENGAN METODE SEMI AUTOMATIS (STUDI KASUS: AREA PAKUWON TRADE CENTER, KOTA SURABAYA)**

ZENDA MERGITA FIRDAUS  
NRP. 03311640000054

Dosen Pembimbing  
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.  
Husnul Hidayat, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM 184831

# **PEMODELAN KOTA TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN DATA LIDAR DAN FOTO UDARA DENGAN METODE SEMI AUTOMATIS (STUDI KASUS: AREA PAKUWON TRADE CENTER, KOTA SURABAYA)**

ZENDA MERGITA FIRDAUS  
NRP. 03311640000054

Dosen Pembimbing  
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.  
Husnul Hidayat, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

***“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”***



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - RM 184831

# **THREE-DIMENSIONAL CITY MODELING USING LIDAR AND ORTHOPHOTO WITH SEMI AUTOMATIC METHOD (CASE STUDY: PAKUWON TRADE CENTER AREA, SURABAYA CITY)**

ZENDA MERGITA FIRDAUS  
NRP. 03311640000054

Supervisor  
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.  
Husnul Hidayat, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

***“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”***

**PEMODELAN KOTA TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN DATA  
LIDAR DAN FOTO UDARA DENGAN METODE SEMI  
AUTOMATIS (STUDI KASUS: AREA PAKUWON TRADE  
CENTER, KOTA SURABAYA)**

**Nama Mahasiswa** : Zenda Mergita Firdaus  
**NRP** : 03311640000054  
**Departemen** : Teknik Geomatika FTSPK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Hepi Hapsari H, ST, MSc, PhD  
Husnul Hidayat, ST, MT

**ABSTRAK**

Kebutuhan informasi geospasial tiga dimensi (3D) untuk wilayah kota sangatlah penting mengingat kota sebagai pusat kegiatan dengan jumlah bangunan dan infrastruktur yang banyak dan memiliki karakteristik data geospasial yang multi obyek, multi struktur dan bermacam jenis (heterogenitas). Informasi visualisasi data geospasial 3D dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait dengan keberlangsungan perencanaan, pembangunan dan operasional infrastruktur di wilayah kota. Dalam membuat 3D *city model* tentu diperlukan data-data yang mendukung seperti data ketinggian, *footprint* bangunan, titik vegetasi, dan jaringan jalan. Data tersebut dapat diperoleh dari LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dan foto udara. LiDAR digunakan untuk informasi ketinggian dan foto udara digunakan untuk memodelkan atap. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat kota tiga dimensi adalah metode semi-otomatis. Metode ini memodelkan seluruh kota menggunakan sistem yang dapat menumbuhkan jaringan. Jaringan dapat diatur dalam beberapa menit dengan proses otomatisasi tetapi jika pengguna ingin diubah, dapat dilakukan secara manual. Hasil yang didapatkan adalah didapatkan lima tipe atap

pada lokasi penelitian, yaitu pelana (*gable*), limas (*hip*), datar (*flat*), kubah (*dome*), dan *mansard*. Tipe atap yang dominan adalah tipe datar, pelana, dan limas. Sedangkan tipe kubah dan *mansard* hanya sebagai pelengkap. Jika ditinjau dari tingkat kesulitannya, gedung tinggi jenis apartemen adalah tipe bangunan yang sulit untuk dimodelkan. Kemudian perumahan dan yang paling mudah dimodelkan adalah permukiman. Tingkat kesulitan diukur berdasarkan kompleksitas atap masing-masing bangunan. Kesalahan yang terjadi dalam pemodelan berasal dari kurang atau lebihnya segmentasi atap. Hal ini bisa diatasi dengan mengulang segmentasi atap menggunakan foto udara. Ketelitian geometri keliling yang dihasilkan sebesar 0,92 m dari toleransi sebesar 2 m. Ketelitian luas yang dihasilkan sebesar 0,34% kesalahan luas dari toleransi 2%. Sedangkan ketelitian *level of detail* (LOD) level 2 sebesar 86,07% dari toleransi 85%. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dihasilkan dapat diterima.

***Kata kunci: Foto Udara, LiDAR, Model Kota 3D Semi Automatis.***



# THREE-DIMENSIONAL CITY MODELING USING LIDAR AND ORTHOPHOTO WITH SEMI AUTOMATIC METHOD (CASE STUDY: PAKUWON TRADE CENTER AREA, SURABAYA CITY)

Name : Zenda Mergita Firdaus  
NRP : 03311640000054  
Department : Teknik Geomatika FTSPK-ITS  
Advisory Lecture : Hepi Hapsari H, ST, MSc, PhD  
Husnul Hidayat, ST, MT

## ***ABSTRACT***

The need for three-dimensional geospatial information (3D) for urban areas is very important considering the city as a center of activity with a large number of buildings and infrastructure and has the characteristics of multi-object geospatial data, multi-structure and various types (heterogeneity). 3D geospatial data visualization information can be used as a basis for decision making related to the sustainability of planning, construction, and operational infrastructure in urban areas. To establish a 3D city model, supporting data such as elevation, building footprint, vegetation point, and road network are needed. The data can be obtained from LiDAR (Light Detection and Ranging) and aerial photography. LiDAR is used for height information and aerial photography is used to model the roof. One method that can be applied to create three-dimensional cities is the semi-automatic method. This method models the entire city using a system to grow the network. The network can be set up in minutes with the automation process but if the user wants to modify, it can be done manually. The results obtain five types of roofs at the study site, namely the gable, hip, flat, dome, and mansard. The dominant roof types are flat, gable, and hip

types. While the type of dome and mansard is only as a supplement. Regarding the level of difficulty, a high-rise apartment is a type of building that is difficult to model. The next difficulty of roof modelling is housing then settlement. The difficulty level is determined based on the complexity of the roof of each building. Errors occurring in modeling come from less or more roof segmentation. This can be overcome by repeating the segmentation of the roof using aerial photographs. The accuracy of the geometry accuracy of circumference is 0.92 m from 2 m. The error of area geometry is about 0.34%, with error tolerance of 2%. While the accuracy of the level of detail (LOD) 2 is 86.07%, with a tolerance of 85%. This reveals that the model provided by this study can be accepted.

***Keywords: Aerial Photo, Three-Dimensional City Model, LiDAR, Semi-Automatic Method.***

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMODELAN KOTA TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN DATA LIDAR DAN FOTO UDARA DENGAN METODE SEMI AUTOMATIS (STUDI KASUS: AREA PAKUWON TRADE CENTER, KOTA SURABAYA)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ZENDA MERGITA FIRDAUS**

NRP. 03311640000054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Heps Hapsari H., ST, MSc, PhD  
NIP. 19781212 200501 2 001

2. Husnul Hidayat, ST, MT  
NIP. 19900807 201504 1 001



**SURABAYA, AGUSTUS 2020**

***“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Assalamua'alaykum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil 'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pelaksanaan tugas akhir berjalan lancar dan pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul "Pemodelan Kota Tiga Dimensi Menggunakan Data LiDAR dan Foto Udara dengan Metode Semi Automatis (Studi Kasus: Area *Pakuwon Trade Center*, Kota Surabaya)" dapat diselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan laporan ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah, Mama, dan Rachel. Keluarga tercinta yang senantiasa tulus memberikan do'a, dukungan, motivasi, bantuan, serta kasih sayang kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Ibu Hesti Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D dan Bapak Husnul Hidayat, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan saran serta motivasi kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir.
4. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberi Beasiswa Bidikmisi pada penulis sehingga penulis bisa berkuliah di ITS.
5. Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya atas bantuannya memberikan data yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini.
6. ESRI Indonesia yang telah memberikan lisensi perangkat lunak ArcGIS Pro dan ArcGIS Desktop yang digunakan untuk mengolah data dalam tugas akhir ini.
7. Mbak Lusiana Suwandi dari ESRI Indonesia yang membantu penulis dalam pengolahan data tugas akhir.

8. Dr. Zul, Bang Radhie, dan Tam selaku dosen pembimbing dan kawan-kawan saat magang riset di Universiti Teknologi Malaysia yang telah berbagi pengetahuan kepada penulis tentang pengolahan data untuk tugas akhir ini.
9. Keluarga Besar Teknik Geomatika ITS Angkatan 2016 yang telah menemani penulis selama menempuh kuliah di Teknik Geomatika ITS.
10. Harissalam, Aji, Fiki, Fadhil, Ike, Norma, dan Mahar selaku kawan seperbimbingan yang saling mendukung dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Keluarga besar Ma'had Ahlul Qur'an yang selalu memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis.
12. Segenap pihak yang telah membantu dan membimbing penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini kedepannya.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	iii
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
LEMBAR PENGESAHAN .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
SINGKATAN .....	xxii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Manfaat .....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 <i>Light Detection and Ranging (LiDAR)</i> .....	7
2.2 Foto Udara .....	9
2.3 Representasi Permukaan .....	10
2.4 Sistem Tinggi .....	11
2.5 Model Kota Tiga Dimensi .....	13
2.6 Metode Semi Automatis .....	15
2.7 <i>Semantic Rule</i> .....	17
2.8 <i>Level of Detail (LOD)</i> .....	18

2.9 Uji Akurasi .....	20
2.10 Penelitian Terdahulu.....	21
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	25
3.2 Data dan Peralatan.....	26
3.2.1 Data .....	26
3.2.2 Peralatan.....	27
3.3 Tahapan Penelitian .....	27
3.4 Tahap Pengolahan Data.....	28
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Pembuatan nDSM.....	33
4.2 Eliminasi Bangunan .....	33
4.3 Klasifikasi Bangunan .....	35
4.4 Segmentasi Atap.....	38
4.5 Konversi Data.....	40
4.6 Pembentukan Bangunan 3D .....	42
4.7 Penerapan <i>Roof Rule</i> .....	43
4.8 Visualisasi Model .....	51
4.9 Uji Akurasi Keliling .....	53
4.10 Uji Akurasi Luas .....	55
4.11 Uji Statistik.....	57
4.11.1 Uji Statistik Keliling .....	58
4.11.2 Uji Statistik Luas.....	59
4.12 Uji Akurasi LOD2.....	61
4.13 Analisis Metode Semi Automatis.....	64



4.13.1 Kesalahan.....	64
4.12.2 Kesulitan Pemodelan.....	68
BAB V. PENUTUP.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	77
BIODATA PENULIS.....	100

***“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengoperasian Dasar Teknik LiDAR .....	7
Gambar 2.2 Pengembalian Pulsa Laser dalam Sistem LiDAR .....	8
Gambar 2.3 Ilustrasi dari DSM dan DTM.....	10
Gambar 2.4 Kemiringan dan Aspek.....	11
Gambar 2.5 Sistem Tinggi .....	12
Gambar 2.6 Tipe Atap.....	13
Gambar 2.7 3D City Model.....	14
Gambar 2.8 Model 3D dari Yarmouk University.....	14
Gambar 2.9 Parameter Pembentukan Jalan .....	16
Gambar 2.10 Contoh Penerapan <i>Semantic Rule</i> .....	17
Gambar 2.11 Tingkat LOD (Turksever 2015).....	18
Gambar 2.12 Model Kota 3D dengan LOD2 .....	19
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian .....	25
Gambar 3.2 Data raster yang digunakan. ....	26
Gambar 3.3 Data vektor yang digunakan .....	27
Gambar 3.4 Perangkat lunak yang digunakan.....	27
Gambar 3.5 Tahapan Penelitian .....	28
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data Bagian Satu .....	29
Gambar 3.7 Diagram Alir Pengolahan Data Bagian Dua.....	31
Gambar 4.1 Pembentukan nDSM.....	33
Gambar 4.2 Hasil Eliminasi Bangunan. ....	34
Gambar 4.3 Klasifikasi Bangunan.....	36
Gambar 4.4 <i>Footprint</i> Bangunan dengan Tinggi Minimum Nol.....	37
Gambar 4.5 Segmentasi Atap.....	38
Gambar 4.6 Hasil Segmentasi Atap .....	39
Gambar 4.7 Grafik Jumlah Segmentasi.....	40
Gambar 4.8 Konversi Bangunan. ....	41
Gambar 4.9 Parameter Pembentukan Bangunan 3D .....	42
Gambar 4.10 Model Bangunan 3D Otomatis .....	43
Gambar 4.11 Atap Pelana.....	46
Gambar 4.12 Atap Limas. ....	47

Gambar 4.13 Atap Datar. ....	48
Gambar 4.14 Atap Kubah. ....	49
Gambar 4.15 Atap Mansard. ....	50
Gambar 4.16 Model Kota 3D pada Area PTC .....	52
Gambar 4.17 Perbedaan Poligon <i>Multipatch</i> dan Data Asli.....	54
Gambar 4.18 Sebaran 30 Bangunan .....	62
Gambar 4.19 Perhitungan TP, FP, dan FN pada Bidang Atap ....	63
Gambar 4.20 Contoh kesalahan tipe <i>over segmentation</i> . ....	65
Gambar 4.21 Contoh kesalahan tipe <i>under segmentation</i> . ....	66
Gambar 4.22 Contoh kesalahan tipe <i>wrong direction</i> .....	67
Gambar 4.23 Contoh bangunan dengan atap kompleks .....	67
Gambar 4.24 Bangunan gedung tinggi.....	68
Gambar 4.25 Bangunan perumahan. ....	69
Gambar 4.26 Bangunan permukiman.....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu beserta Penjelasannya .....	21
Tabel 4.1 Statistika Bangunan Sebelum dan Sesudah Eliminasi.....	35
Tabel 4.2 Statistik Tinggi tiap Jenis Bangunan .....	37
Tabel 4.3 Statistik Luas tiap Jenis Bangunan.....	38
Tabel 4.4 Statistik Segmentasi tiap Jenis Bangunan .....	40
Tabel 4.5 Statistik Tinggi Segmentasi Atap.....	42
Tabel 4.6 Keterangan Kolom pada Bangunan.....	44
Tabel 4.7 Jumlah Tipe Atap .....	51
Tabel 4.8 Jumlah Objek dalam Kota 3D .....	51
Tabel 4.9 Objek dalam Kota 3D.....	52
Tabel 4.10 Perhitungan RMSE Keliling Keseluruhan .....	54
Tabel 4.11 Hasil RMSE Keliling Tiap Jenis Atap .....	55
Tabel 4.12 Hasil RMSE Keliling Tiap Jenis Bangunan .....	55
Tabel 4.13 Perhitungan Persentase Beda Luas Keseluruhan.....	56
Tabel 4.14 Persentase Beda Luas Tiap Jenis Atap .....	56
Tabel 4.15 Hasil Persentase Beda Luas Tiap Jenis Bangunan ....	57
Tabel 4.16 Statistik Keliling Tiap Tipe Atap .....	58
Tabel 4.17 Statistik Keliling Tiap Jenis Bangunan .....	58
Tabel 4.18 Hasil Uji Statistik Keliling Tiap Tipe Atap.....	59
Tabel 4.19 Hasil Uji Statistik Keliling Tiap Jenis Bangunan.....	59
Tabel 4.20 Statistik Luas Tiap Jenis Bangunan.....	59
Tabel 4.21 Statistik Luas Tiap Tipe Atap.....	60
Tabel 4.22 Hasil Uji Statistik Luas Tiap Jenis Bangunan .....	60
Tabel 4.23 Hasil Uji Statistik Luas Tiap Tipe Atap .....	60
Tabel 4.24 Perhitungan <i>completeness</i> , <i>correctness</i> , dan <i>quality</i> pada 30 bangunan.....	63

## SINGKATAN

3D	(Tiga Dimensi)
ASPRS	( <i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i> )
BPN	(Badan Pertanahan Nasional)
CGA	( <i>Computer Generated Architecture</i> )
CKTR	(Cipta Karya dan Tata Ruang)
DEM	( <i>Digital Elevation Model</i> )
DSM	( <i>Digital Surface Model</i> )
DTM	( <i>Digital Terrain Model</i> )
EDMI	( <i>Electronic Distance Measuring Instrument</i> )
ESRI	( <i>Environmental Systems Research Institute</i> )
FN	( <i>False Negative</i> )
FP	( <i>False Positive</i> )
LiDAR	( <i>Light Detection and Ranging</i> )
LOD	( <i>Level of Detail</i> )
LOS	( <i>Line of Sight</i> )
nDSM	( <i>Normalize Digital Surface Model</i> )
OGC	( <i>Open Geospatial Consortium</i> )
PMNA	(Peraturan Menteri Nasional Agraria)
PTC	( <i>Pakuwon Trade Center</i> )
RMSE	( <i>Root Mean Square Error</i> )
TLS	( <i>Terrestrial Laser Scanner</i> )
TOF	( <i>Time of Flight</i> )
TP	( <i>True Positive</i> )

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Era Revolusi Industri 4.0 menjadi tantangan pembangunan bagi kita semua. Hal ini pun terjadi di bidang geomatika dan konstruksi yang akan melakukan proses analisis perencanaan hingga pelaksanaan suatu proyek. Perencanaan dalam skala yang lebih detail membutuhkan data yang lebih detail. Ketersediaan data yang lebih lengkap dibutuhkan untuk menjamin representasi kondisi fisik yang lebih nyata. Hal ini merupakan konsekuensi perencanaan yang detail karena akan juga langsung berdampak kepada pembangunan yang dilakukan masyarakat (Suwandi 2017).

Kebutuhan informasi geospasial tiga dimensi (3D) untuk wilayah kota sangatlah penting mengingat kota sebagai pusat kegiatan dengan jumlah bangunan dan infrastruktur yang banyak dan memiliki karakteristik data geospasial yang multi obyek, multi struktur dan bermacam jenis (heterogenitas). Informasi visualisasi data geospasial 3D dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait dengan keberlangsungan perencanaan, pembangunan dan operasional infrastruktur di wilayah kota. Eri Cahyadi, Kepala Dinas Perumahan Rakyat Kota Surabaya dalam wawancaranya pada tanggal 26 Januari 2017 mengatakan bahwa adanya peta udara dan LiDAR ini juga bermanfaat untuk potensi berkembangnya investasi di Surabaya. Investor yang berniat melakukan investasi di Surabaya, dengan melihat peta tampilan 3D ini, akan langsung tahu potensi investasi di lokasi yang diinginkan (Effendi 2017).

Saat ini visualisasi informasi geospasial 3D untuk wilayah kota di Indonesia masih jarang dan bahkan di beberapa tempat tidak ada. Informasi geospasial 3D biasanya hanya terdapat pada kota-kota besar yang memiliki bangunan bertingkat, padahal informasi kota bukan hanya dikhususkan untuk bangunan bertingkat tetapi juga dapat memberikan informasi terkait dengan bangunan, infrastruktur seperti halnya jalan dan vegetasi yang

berada di wilayah kota. Saat ini perencanaan wilayah kota (*urban design*) yang dilakukan masih berbasis informasi 2D yang diperoleh dari peta skala besar, padahal konsep ruang perencanaan tidak hanya untuk 2D tetapi memiliki aspek 3D. Informasi 3D khususnya untuk wilayah kota atau dikenal dengan nama model kota 3D merupakan alat bantu yang dapat digunakan untuk melakukan visualisasi, memberikan informasi atribut dan analisis perencanaan, pembangunan dan monitoring wilayah kota (Batara 2012).

Pribadi, Handayani, dan Rachmawan (2016) melakukan pemodelan 3D pada Tugu Pahlawan di Surabaya menggunakan TLS (*Terrestrial Laser Scanner*). Yuwono, dkk (2018) menggunakan wahana *drone* tipe *Quadcopter* dan TLS untuk memodelkan Candi Jawi. Nafiatunnisa (2017) memodelkan Candi Wringinlawang secara 3D menggunakan metode *structure from motion*. Tetapi dari penelitian yang sudah dilakukan, belum ada penelitian untuk pengembangan model kota 3D menggunakan data LiDAR dan foto udara.

Dalam membuat model kota 3D tentu diperlukan data-data yang mendukung seperti data ketinggian, *footprint* bangunan, titik vegetasi, dan jaringan jalan. Data tersebut dapat diperoleh dari LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dan foto udara. Data LiDAR efektif digunakan dalam menentukan tinggi bangunan, terutama pada bangunan gedung yang sangat tinggi yang tidak dapat diukur dengan alat ukur ketinggian karena keterbatasan pergerakan vertikal alat. Kerapatan dan akurasi elevasi data LiDAR sebesar 15-20 cm, sehingga ketinggian bangunan dapat dihitung dengan akurasi tinggi (Atmaja 2016). Selain itu, LiDAR mampu memberikan hasil yang baik untuk penataan ruang kawasan baik skala kecil maupun besar.

Sementara itu foto udara dapat memberikan informasi terkait lokasi dan bentuk objek dalam resolusi sangat tinggi. Dari hasil pengolahan foto udara ini didapatkan hasil tutupan lahan yang sangat akurat serta bentuk bangunan dengan *Level of Detail* (LOD) yang tinggi. Penggunaan LiDAR dan foto udara dalam membuat



model kota 3D dibutuhkan seiring dengan perkembangan infrastruktur kota dan kebutuhan peta skala besar. Kota Surabaya sebagai salah satu kota metropolitan di Indonesia telah melakukan pemetaan LiDAR dan foto udara. Dengan adanya data tersebut dapat digunakan dalam pembuatan informasi sebagai acuan dalam pengambilan kebijakan.

Terdapat banyak metode yang dapat dilakukan untuk membuat model kota 3D. Pemodelan kota 3D dapat dilakukan secara manual maupun semi otomatis. Manual berarti peneliti membuat sendiri *syntax*, *rule*, maupun *grammar* nya dengan berbagai bahasa pemrograman. Sedangkan semi otomatis berarti menggunakan perangkat lunak yang telah terbangun *syntax*, *rule*, maupun *grammar* nya namun tetap memasukkan parameter-parameternya sendiri. Contoh dari cara manual adalah metode *data-driven (bottom-up)*, *model-driven (top-down)*, dan *hybrid approaches* (Zheng 2017). Setiap metode memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Metode *data-driven* memiliki keunggulan dalam mendeteksi elemen-elemen dasar, seperti batas, punggung dan tepi atap, tetapi kualitas rekonstruksi dibatasi oleh algoritma yang digunakan untuk segmentasi bidang atap. Metode *model-driven* memiliki batasan yaitu bahwa ada jenis model terbatas yang disimpan di penyimpanan yang telah ditentukan.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Parish dan Muller (2001) terdapat cara baru memodelkan seluruh kota secara semi otomatis dengan menggunakan L-sistem yang dimodifikasi untuk menumbuhkan jaringan. Jaringan dapat diatur dalam beberapa menit dengan proses otomatisasi tetapi tetap bisa diubah, dengan membuat jaringan secara manual. Penggunaan metode semi otomatis ini dapat menghasilkan model kota 3D dalam waktu yang singkat dengan ketelitian yang cukup tinggi serta tampilan yang menarik (Turkseven 2015). Penerapan aturan semantik sangat ditekankan dalam prosedur pemodelan menggunakan metode semi otomatis. *Rule* dari metode semi otomatis adalah file teks CGA (*Computer Generated Architecture*) yang berisi serangkaian definisi dan dapat memutuskan bagaimana menghasilkan model.

Dengan kata lain ia mendefinisikan objek model seperti bentuk, lokasi spasial, parameter, dan elemen seperti jendela, pintu, ketinggian, ketinggian lantai, tekstur, gaya, dan atribut lainnya dalam file teks.

Dalam penelitian ini didefinisikan lima objek yaitu perumahan (*planned/row house*), permukiman (*unplanned house*), gedung tinggi (*high rise building*), pohon, jalan, dan lampu jalan. Hal ini didasarkan pada studi area yang memiliki jenis bangunan bermacam-macam. Perumahan merujuk pada rumah yang terdiri atas baris-baris serta teratur. Permukiman merujuk pada tempat tinggal penduduk di suatu kawasan yang kurang teratur dan tidak tertata. Dari kelima kelas tersebut akan dilakukan validasi dari segi LOD maupun geometri. LOD yang dipilih adalah LOD2 karena berada dalam ketelitian medium artinya tidak terlalu detil sehingga waktu pengolahan data sangat lama, tidak juga terlalu kasar hingga tidak bisa mengetahui bentuk suatu bangunan. Validasi dilakukan dengan membandingkan model dengan foto udara. Hasil dari validasi berupa nilai *completeness* (kelengkapan), *correctness* (kebenaran), *quality* (kualitas), *root mean square error* (RMSE), dan persentase kesalahan geometri tiap objek terutama bangunan. Dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan model kota 3D yang akurat bagi Kota Surabaya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pemodelan kota 3D menggunakan data LiDAR dan foto udara di Kota Surabaya pada kawasan yang memiliki perbedaan karakteristik beserta akurasi geometri dan LOD-nya?
2. Bagaimana pengaruh metode semi otomatis pada penerapan *roof rule* yang berbeda-beda dalam membangun sebuah model kota 3D?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat pemodelan kota 3D menggunakan data LiDAR dan foto udara di Kota Surabaya pada kawasan yang memiliki perbedaan karakteristik beserta akurasi geometri dan LOD-nya.
2. Mengetahui pengaruh penerapan *roof rule* menggunakan metode semi otomatis dalam membuat model kota 3D.

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan pada masalah sebagai berikut.

1. Karakteristik wilayah perkotaan dibagi menjadi tiga yaitu perumahan (*row/planned house*), permukiman (*unplanned house*) dan gedung tinggi (*high rise building*).
2. Tingkat LOD yang dihasilkan adalah LOD level 2.
3. Lokasi penelitian ini berada di area *Pakuwon Trade Center*, Surabaya.
4. *Rule* yang dimodifikasi fokus pada jenis atap (*roof*).
5. Akurasi geometri yang dihitung adalah keliling dan luas atap

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebagai rekomendasi peta dasar dalam pembuatan Rencana Detil Tata Ruang (RDTR) untuk mengetahui pengaruh bangunan satu terhadap yang lain.
2. Sebagai bahan evaluasi untuk pengembang perangkat lunak untuk meningkatkan performa maupun ketelitian algoritma dalam perangkat lunak.
3. Sebagai bahan evaluasi untuk penelitian terkait LiDAR, foto udara, pemodelan kota 3D, dan metode semi otomatis selanjutnya.

***“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”***

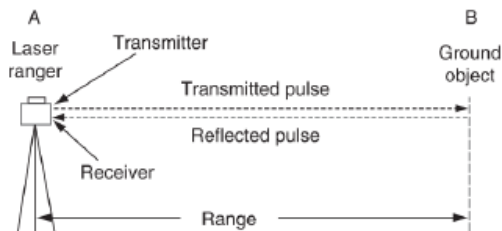
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Light Detection and Ranging (LiDAR)

*Light detection and ranging* (LiDAR) adalah salah satu teknik penginderaan jauh yang juga dikenal sebagai *light amplification by stimulated emission of radiation* (laser) *scanning* (pemindai laser). Teknik ini dapat membantu pekerjaan survei topografi yang sangat terperinci dan akurat sejak awal abad kedua puluh satu (Carter, dkk 2001). LiDAR dapat memperoleh lebih dari 10.000 titik dalam koordinat 3D *cartesian* (koordinat X, Y, dan Z) dalam setiap detiknya, baik dilakukan dalam posisi tetap maupun bergerak. Titik-titik yang dihasilkan ini disebut *point cloud*.

Menurut Jaboyedoff, dkk (2018), perangkat LiDAR terdiri dari kombinasi antara pemancar laser (*rangefinder laser*) dan mekanisme pemindaian yang dapat mengukur jarak ke target dan orientasinya dari sinar laser (*laser beam*). Perangkat pemindai bekerja dengan rotasi internal satu atau dua cermin dan/atau rotasi seluruh perangkat. Komponen tambahan biasanya termasuk unit elektronik, perangkat pencitraan (misalnya kamera digital), dan perangkat lunak khusus untuk mengendalikan keseluruhan sistem.



Gambar 2.1 Pengoperasian Dasar Teknik LiDAR (Petrie dan Toth 2009)

Prinsip LiDAR mirip dengan *electronic distance measuring instrument* (EDMI). Laser ditembakkan dari pemancar kemudian energi yang dipantulkan ditangkap kembali olehnya.

Pengukuran LiDAR didasarkan pada jarak sepanjang *line of sight* (LOS) antara pemancar dan reflektor. Reflektor dapat berupa objek alami atau buatan seperti prisma. Pengukuran ini disebut juga sebagai *time of flight* (TOF). Pemancar laser akan mengukur interval waktu antara pulsa yang dipancarkan oleh pemancar yang terletak di titik A dan kembalinya setelah direfleksikan oleh objek yang terletak di titik B (lihat Gambar 2.1). Berdasarkan Petrie dan Toth (2009), persamaan jarak berdasarkan TOF dinyatakan sebagai berikut:

$$d = c \times \Delta t / 2 \quad (2.1)$$

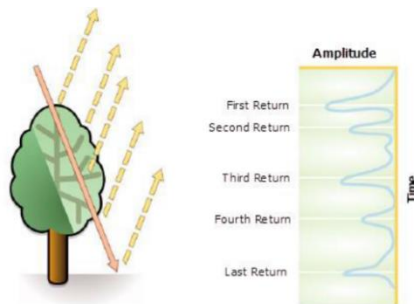
Keterangan:

$d$  = jarak (meter)

$v$  = kecepatan cahaya di udara ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\Delta t$  = *time of flight* (sekon)

Hasil dari LiDAR berupa titik-titik yang memiliki nilai koordinat dan tinggi. titik-titik ini disebut dengan *point cloud*. *Point cloud* adalah sekumpulan data berupa titik-titik pada beberapa sistem koordinat. Data tersebut diproses pasca survei pengumpulan data melalui sistem lidar. Dalam sistem koordinat 3D kartesian, titik-titik ini ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z, dan sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan eksternal dari suatu objek.



Gambar 2.2 Pengembalian Pulsa Laser dalam Sistem LiDAR  
(Esri 2012)

Pulsa laser yang dipancarkan dari sistem LiDAR memantul baik dari permukaan objek maupun permukaan tanah (Esri 2015). Satu pulsa laser yang dipancarkan dapat kembali ke sensor LiDAR dengan satu atau banyak yang dikembalikan. Pulsa laser yang dikembalikan pertama adalah objek tertinggi di lanskap seperti puncak pohon, bagian atas bangunan, atau bahkan tanah (*ground*) jika tidak ada objek di atas permukaan tanah. Pengembalian pulsa laser menengah secara umum digunakan untuk struktur vegetasi. Pengembalian pulsa laser terakhir biasanya digunakan untuk model elevasi tanah (*terrain*), namun dalam beberapa kasus, tanah tidak selalu menjadi pengembalian terakhir karena pulsa laser tidak dapat mencapainya akibat tebalnya objek di atas permukaan tanah.

Data LiDAR disimpan dalam format biner yang disebut LAS. LAS merupakan format file standar yang diterbitkan oleh *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) untuk pertukaran data LiDAR (Esri 2012). Setiap file LAS berisi metadata dari survei LiDAR yang disertai catatan individual untuk setiap pulsa laser yang terekam.

## 2.2 Foto Udara

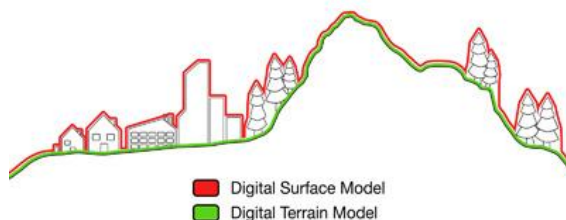
Dalam kegiatan fotogrametri, ada dua jenis foto yang dihasilkan berdasarkan cara pengambilan data yaitu foto terestrial dan foto udara. Foto terestrial diambil dengan kamera yang berada di permukaan Bumi, sedangkan foto udara diambil dengan kamera yang dipasang pada wahana terbang di udara. Berdasarkan perbedaan jenis tersebut, dapat diketahui bahwa foto udara merupakan produk dari bidang spesialisasi fotogrametri udara (*aerial photogrammetry*). Foto udara dapat diklasifikasikan berdasarkan tiga sudut pandang. Klasifikasi tersebut dilihat dari orientasi sumbu kamera, panjang fokus kamera, dan jenis emulsi. Menurut Schenk (2005) klasifikasi berdasarkan orientasi kamera terdiri dari: *True vertical* (vertikal sempurna) adalah jenis foto dengan poros kamera vertikal sempurna, *near vertical* (hampir vertikal) adalah jenis foto dengan kemiringan dibatasi kurang dari

dua hingga tiga derajat., dan *oblique* (miring) adalah jenis foto dengan poros kamera yang dimiringkan antara vertikal dan horizontal. Total area foto miring jauh lebih besar daripada foto vertikal. Foto miring memiliki sub-kelas yaitu *low oblique* (miring rendah) dan *high oblique* (miring tinggi).

### 2.3 Representasi Permukaan

*Digital Surface Model* (DSM) yang sering disebut sebagai model permukaan bumi yang mencakup fitur medan, bangunan, vegetasi, dan saluran listrik dll, oleh karena itu DSM dapat merepresentasikan topografi dari permukaan bumi. Sedangkan *Digital Terrain Model* (DTM) digunakan untuk mewakili permukaan terrain dari bumi atau permukaan tanah. DTM merupakan representasi statistik permukaan kontinu tanah dari sekumpulan besar titik yang terpilih dengan koordinat x, y, z dengan referensit tertentu (Kennie dan Petrie 1990).

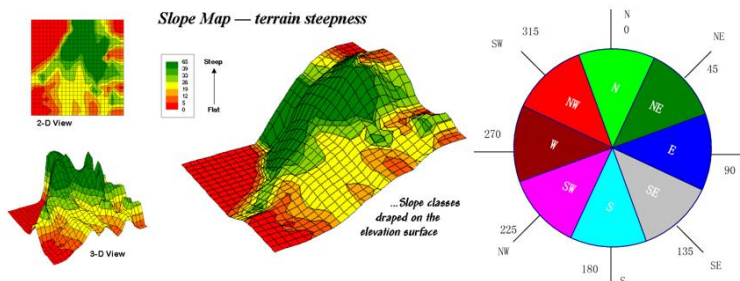
Perbedaan antara DSM dan DTM dalam merepresentasikan objek di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.3. DSM merepresentasikan seluruh objek di atas permukaan tanah sedangkan DTM hanya merepresentasikan permukaan tanah saja. Sedangkan *Digital Elevation Model* (DEM) merupakan salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan kedalam tampilan 3D. DEM ini yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan setiap pengukuran.



Gambar 2.3 Ilustrasi dari DSM dan DTM (Wikantika, dkk 2015)



Dari bentuk permukaan ini dapat diturunkan bentuk permukaan lain seperti kemiringan dan aspek. Kemiringan menunjukkan laju perubahan ketinggian untuk setiap piksel DEM. Sedangkan aspek mengidentifikasi arah kemiringan dari tingkat maksimum perubahan nilai dari setiap piksel ke sekitarnya. Aspek dapat dianggap sebagai arah kemiringan. Nilai-nilai dari raster output akan menjadi arah kompas yang menunjukkan arah kemiringan.



Gambar 2.4 Kemiringan dan Aspek (Hu, dkk 2015)

## 2.4 Sistem Tinggi

Sistem tinggi adalah sistem koordinat satu dimensi yang digunakan untuk menentukan jarak metrik suatu titik dari permukaan referensi di sepanjang jalur yang terdefinisi dengan baik, yang disebut hanya ketinggian titik itu. Meskipun tampak sederhana, ketinggian suatu titik dapat didefinisikan dalam banyak cara yang agak berbeda yang masing-masing memberikan koordinat ketinggian yang berbeda untuk titik yang sama. Dengan demikian, definisi dan penggunaan istilah 'tinggi' perlu sangat diperhatikan (Featherstone, dkk 2010). Berikut adalah jenis-jenis tinggi.

### 1. Tinggi Normal

Tinggi normal merupakan sistem tinggi dengan bidang acuan terhadap Ellipsoid. Tinggi yang digunakan adalah tinggi

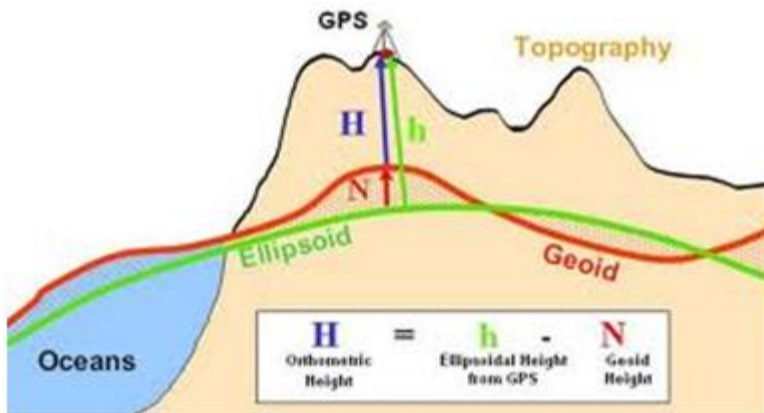
h. Ketinggian  $h$  terhadap ellipsoid referensi dihitung sepanjang garis normal  $n'$  yang melalui titik tersebut. Menggunakan metode satelit, misalnya GPS.

## 2. Tinggi Orthometrik

Tinggi orthometrik merupakan sistem tinggi dengan bidang acuan terhadap geoid. Ketinggian  $H$  terhadap geoid dihitung sepanjang garis unting-unting  $n$  yang melalui titik tersebut. Menggunakan pengukuran sifat datar yang dilengkapi dengan pengukuran gaya berat. Berikut adalah ilustrasi dari tinggi normal dan tinggi orthometrik.

## 3. Tinggi Dinamis

Prinsip tinggi dinamis adalah titik-titik yang terletak pada bidang ekuipotensial yang sama memiliki “tinggi” yang sama. Tinggi dinamis dapat dinyatakan dengan banyaknya lapisan-lapisan bidang ekuipotensial, sehingga memiliki satuan potensial.



Gambar 2.5 Sistem Tinggi (Bimasena 2013)

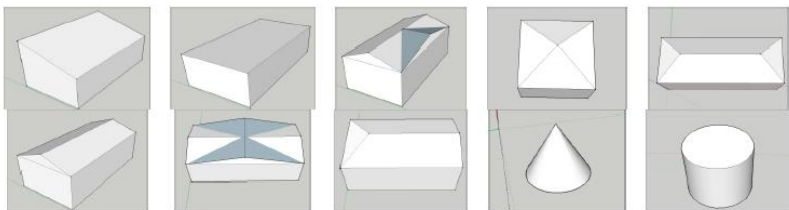
Dalam rangka mengimplementasikan SRGI2013, maka Badan Informasi Geospasial melalui Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika mengelola tiga komponen Sistem Referensi Geospasial Indonesia, yaitu InaCORS sebagai acuan untuk penentuan posisi secara horizontal, InaGeoid sebagai acuan

penentuan posisi secara vertikal, dan InaPasoet sebagai acuan penentuan posisi secara vertikal apabila geoid yang memadai belum tersedia (Perka BIG Nomor 14 Tahun 2013 tentang SRGI2013).

### 2.5 Model Kota Tiga Dimensi

Model kota 3D adalah representasi digital dari permukaan bumi dan benda terkaitnya seperti bangunan, vegetasi, dan beberapa fitur buatan manusia milik daerah perkotaan. Model kota 3D pada dasarnya berisi model kota yang terkomputerisasi atau digital representasi grafis dari bangunan dan objek lain dalam 2,5 atau 3D. Secara umum tiga pendekatan dalam Geomatika digunakan untuk generasi model *Virtual 3D City*. Pendekatan pertama menggunakan teknik konvensional seperti data peta vektor, DEM, dan foto udara. Pendekatan kedua didasarkan pada resolusi tinggi citra satelit dengan pemindaian laser. Pada pendekatan ketiga, banyak peneliti menggunakan gambar terestrial dengan menggunakan fotogrametri jarak dekat dengan pemetaan DSM & tekstur (Singh, dkk 2013).

Dalam pemodelan kota 3D, satu hal yang penting adalah pendefinisian dari tipe atap suatu bangunan. Berikut merupakan contoh tipe atap yang umum digunakan pada bangunan.



Gambar 2.6 Tipe Atap. Dari kiri ke kanan: atap miring, datar (*flat*), pelana bersilang, piramida, limas (*hip*), pelana (*gable*), berpotongan, setengah limas, kerucut, silinder. (Zheng 2017)

Berikut merupakan contoh model kota 3D yang telah dibuat oleh peneliti sebelumnya.

- a. Model kota 3D menggunakan foto udara dan peta kadaster

Flamanc (2003) membuat rekonstruksi bangunan kerangka kerja untuk produksi model kota 3D dengan menggunakan foto udara dan peta kadaster. Mereka menguji model yang dihasilkan dengan data pendekatan.



Gambar 2.7 3D City Model (Flamanc, dkk 2003)

- b. Model kota 3D menggunakan SIG (Sistem Informasi Geografis)

Al-Hanbali dkk (2006) membuat model 3D untuk Universitas Yarmouk dengan menggunakan SIG dan fotogrametri.



Gambar 2.8 Model 3D dari Yarmouk University (Al-Hanbali, dkk 2006)

c. Model kota 3D menggunakan Citra Satelit

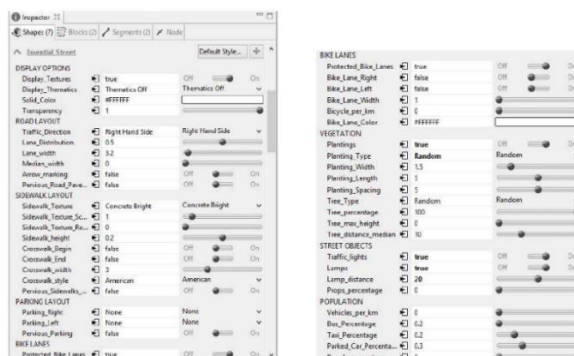
Huang, dkk (2008), mengusulkan metode untuk rekonstruksi objek dari satelit resolusi tinggi menggunakan teknik *Monoplotting*. Mereka menggunakan *Rational Polynomial Coefficients* (RPC) dan DEM resolusi tinggi untuk mencapai geometri presisi tinggi dari objek 3D yang direkonstruksi. Sinar satelit menentukan RPC dan bayangan objek di tanah, menentukan dari sudut azimuth dan ketinggian matahari. Poligon diekstraksi secara manual dari atas permukaan suatu objek, digunakan untuk prediksi posisi dasar dan bayangan pada citra satelit 2D berdasarkan ketinggian objek. Ketinggian objek ditentukan dari dasar yang diprediksi.

## 2.6 Metode Semi Automatis

Terdapat banyak metode yang dapat dilakukan untuk membuat model kota 3D. Bisa secara manual maupun semi otomatis. Manual berarti peneliti membuat sendiri *syntax*, *rule*, maupun *grammar* nya dengan berbagai bahasa pemrograman. Sedangkan semi otomatis adalah menggunakan perangkat lunak yang telah terbangun *syntax*, *rule*, maupun *grammar* nya namun tetap memasukkan parameter-parameternya sendiri. Contoh dari cara manual adalah metode *data-driven (bottom-up)*, *model-driven (top-down)*, dan *hybrid approaches* (Zheng 2007). Untuk metode *data-driven (bottom-up)*, bangunan dianggap sebagai agregasi bidang atap yang diwakili oleh blok *point cloud* atau *digital surface model* (DSM) yang disegmentasi ke dalam bagian yang berbeda dengan memanfaatkan algoritma seperti *region growing*, *random sampe consensus* (RANSAC), *clustering*, *ridge or edge based*, atau kombinasi dari dua atau beberapa dari mereka (Awrangjeb 2013). Metode *model-driven (top-down)*, mengembangkan model pembangunan parametrik, yang disimpan dalam file yang telah ditentukan untuk merekonstruksi blok *point cloud* atau DSM.

Bayesian menemukan konfigurasi optimal blok 3D menggunakan sampel Markov Chain Monte Carlo (MCMC) yang terkait dengan kernel proposisi asli (Arefi 2008). Banyak peneliti mencoba memanfaatkan *hybrid approaches*, yaitu mengintegrasikan pendekatan berbasis data (*data driven*) dan didorong oleh model (*model driven*) karena mereka pikir itu mungkin menghasilkan model bangunan yang lebih berkualitas (lebih lengkap dan terperinci). Prinsipnya adalah menggunakan pendekatan berbasis data untuk mendeteksi fitur seperti *ridges* dan *edge* sebagai pengetahuan sebelumnya untuk pendekatan berbasis model berikutnya (Tian, dkk 2010).

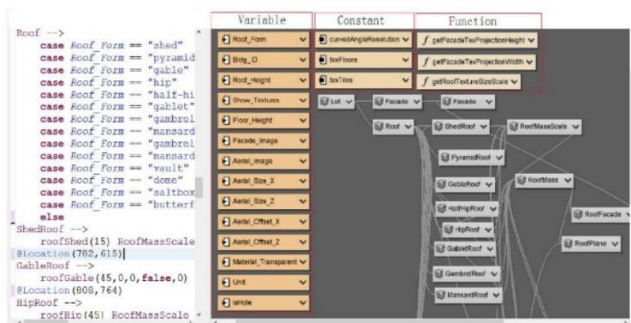
Dalam penelitian yang dilakukan oleh Parish dan Muller (2001) terdapat cara baru memodelkan seluruh kota secara semi otomatis dengan menggunakan L-sistem yang dimodifikasi untuk menumbuhkan jaringan. Jaringan dapat diatur dalam beberapa menit dengan proses otomatisasi tetapi jika pengguna ingin mengubahnya, ia dapat membuat jaringan secara manual. Penggunaan metode semi otomatis ini dapat menghasilkan model kota 3D dalam waktu yang singkat dengan ketelitian yang cukup tinggi serta tampilan yang menarik (Turksever 2015). Berikut merupakan contoh dari parameter-parameter yang digunakan dalam pembentukan jalan.



Gambar 2.9 Parameter Pembentukan Jalan (Turksever 2015)

## 2.7 Semantic Rule

Penerapan *semantic rule* sangat ditekankan dalam prosedur pemodelan menggunakan metode semi otomatis. *Rule* dari metode semi otomatis adalah file teks CGA yang berisi serangkaian definisi dan dapat memutuskan bagaimana menghasilkan model. Dengan kata lain ia mendefinisikan objek model, seperti bentuk, lokasi spasial, parameter dan elemen sebagai jendela, pintu, ketinggian, ketinggian lantai, tekstur, gaya, dan atribut lainnya dalam file teks. File ini juga mencakup operasi prosedur pembuatan model dari grafik dua dimensi, seperti *extrude*, komponen *split*, *intersect* dan aturan operasi lainnya yang sering digunakan dalam prosedur pemodelan dan pada akhirnya menggambarkan cara mengintegrasikan aturan operasional langkah demi langkah untuk menghasilkan model secara otomatis. Sebenarnya aturan yang diterapkan terdiri dari kombinasi definisi fungsi CGA biasa yang digunakan untuk mengontrol generasi model. Pada tahun 1972, Stiny mengusulkan tata bahasa bentuk yang telah membawa serangkaian bentuk dan metode baru untuk desain dan analisis kerangka arsitektur. Kemudian atas dasar ini, Wonka, Müller dan rekan mereka mempresentasikan aturan tata bahasa CGA untuk pemodelan prosedural yang dapat dengan cepat membangun model (Hu, dkk 2013). Berikut merupakan contoh penggunaan *semantic rule* dalam pembentukan gedung.








Gambar 2.10 Contoh Penerapan *Semantic Rule* (Hu, dkk 2013)

## 2.8 Level of Detail (LOD)

*Level of Detail* (LOD) merupakan suatu tingkat detail dari suatu objek atau kumpulan poligon. LOD berfungsi untuk mengurangi banyaknya poligon yang akan digambar dengan menggunakan parameter tertentu. Fungsi lain yang mungkin dapat digunakan dari LOD adalah kompresi pada penyimpanan objek dengan memperkecil tingkat detail dari suatu objek (Juniastuti 2008).

LOD sering ditemukan untuk menggambarkan karakteristik model kota 3D yang diinginkan. Mempertimbangkan LOD ketika merencanakan akuisisi data sangat penting untuk penganggaran sumber daya yang tepat, dan LOD menentukan teknologi akuisisi yang harus digunakan karena LOD yang berbeda merupakan hasil dari pendekatan akuisisi data yang berbeda, misalnya itu mendorong kerapatan *point cloud* minimum ketika menggunakan pemindaian laser udara, dan menentukan kondisi teknik akuisisi tertentu memadai atau membutuhkan cara akuisisi tambahan. Dalam akuisisi data, LOD berfungsi sebagai instruksi utama tentang cara teliti untuk memperoleh data. Bahkan, istilah LOD sudah dapat ditemukan di makalah awal terkait dengan akuisisi model kota 3D (Biljecki 2017). *Real time visualization* dari model kota 3D memerlukan representasi bangunan dalam berbagai LOD.

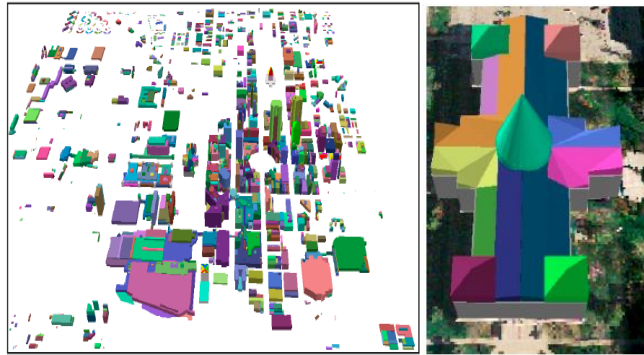
LOD 0		Regional model	2.5D Digital Terrain Model
LOD 1		City/Site model	„block model“ w/o roof structure
LOD 2		City/Site model	textured, with roof structures
LOD 3		City/Site model	detailed archi- tecture model
LOD 4		Interior model	„walkable“ archi- tecture model

Gambar 2.11 Tingkat LOD (Turksever 2015)



Berikut merupakan tingkat LOD.

- LOD0 level paling kasar pada dasarnya adalah model terrain digital dua setengah dimensi untuk peletakan gambar udara dan peta.
- LOD1 adalah model blok terkenal yang terdiri dari bangunan prismatic dengan atap datar.
- Sebaliknya, bangunan di LOD2 memiliki struktur atap yang berbeda dan secara tematis permukaan dapat dibedakan. Objek vegetasi juga dapat ditampilkan. Penambahan tekstur menjadi opsi pilihan. Berikut merupakan contoh dari model kota 3D dengan LOD 2.



Gambar 2.12 Model Kota 3D dengan LOD2\_(Zheng 2017)

- LOD3 menunjukkan model arsitektur dengan detail dinding dan struktur atap, balkon, teluk, dan proyeksi. Tekstur resolusi tinggi dapat dipetakan di sini. Selain itu, detail vegetasi dan objek transportasi adalah komponen dari model LOD3
- LOD4 melengkapi model LOD3 dengan menambahkan struktur interior untuk objek 3D. Sebagai contoh, bangunan terdiri dari kamar, pintu interior, tangga, dan perabotan

### 2.9 Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan model yang dibuat. Uji akurasi ini dilakukan sebanyak dua kali dengan tujuan yang berbeda. Tujuan pertama yaitu untuk memvalidasi geometri objek hasil pemodelan kota 3D. Sedangkan tujuan kedua yaitu untuk memvalidasi LOD terhadap hasil CGA *rule* pada bangunan. Validasi geometri dilakukan terhadap keliling dan luas model terhadap foto udara. Acuan yang digunakan untuk keliling adalah standar dari *Open Geospatial Consortium* (OGC) pada tahun 2012 tentang syarat ketelitian pemodelan LOD Level 2 dengan RMSE kurang dari 2 meter. Sedangkan acuan yang digunakan untuk luas adalah Spesifikasi Teknis Peraturan Menteri Negara Agraria (PMNA), Kepala Badan Pertanahan Nasional (BPN) Nomor 3 Tahun 1997 tentang toleransi persentase beda luas kurang dari 2%. Berikut adalah rumus untuk menghitung RMSE dan persentase beda luas dengan  $x$  adalah nilai keliling,  $A$  adalah nilai luas, dan  $n$  adalah jumlah data.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{model} - x_{validasi})^2}{n}} \quad (2.2)$$

$$\% \text{ beda luas} = \frac{A_{model} - A_{validasi}}{A_{validasi}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Sementara itu untuk uji akurasi LOD dilakukan dengan menghitung nilai kelengkapan (*completeness*), kebenaran (*correctness*), dan kualitas (*quality*). Menurut Zheng dkk (2017), berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai-nilai tersebut.

$$Completeness = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.4)$$

$$Correctness = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2.5)$$

$$Quality = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (2.6)$$

dengan TP (*True Positive*) adalah jumlah objek yang terdeteksi sebagai bangunan dalam model dan terletak pada lokasi yang sama pada data validasi. FP (*False Positive*) yang juga disebut *commission error* adalah jumlah objek yang tidak ada dalam data validasi tetapi ada dalam model. Sedangkan FN (*False Negative*) yang juga disebut *omission error* adalah jumlah objek dalam data validasi yang tidak ada dalam model. Toleransi yang digunakan adalah 85% dari keseluruhan model.

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman dari beberapa penelitian terdahulu terkait dengan pemodelan kota 3D.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu beserta Penjelasannya

Penulis (Tahun)	Judul	Kelebihan	Kekurangan
Ulhaq, D.N., Soeksmantono, B., Wikantika, K. (2017)	Pemetaan Bangunan Tiga Dimensi untuk Pemodelan Jalur Evakuasi Darurat	Melakukan pengolahan LiDAR, menambahkan penggunaan model kota 3D untuk pembuatan jalur evakuasi.	Tidak dilakukan uji akurasi terhadap model yang dihasilkan

Tabel 2.2 (Lanjutan)

Batara, Y.D. (2012)	Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Visualisasi Wilayah Kota	Terdapat model fasad bangunan, memodelkan objek infrastruktur lain seperti jembatan.	Tidak dilakukan uji akurasi terhadap model yang dihasilkan
Noviana, E.D., Sunaryo, D.K., Noraini, A. (2020)	Pembuatan Visualisasi <i>3D City Model</i> dengan Memanfaatkan Data LiDAR (Studi Kasus : Stasiun Gambir – Stasiun Gondangdia, Jakarta Pusat)	Melakukan uji akurasi jarak, melakukan <i>ground truth</i> untuk menambahkan model fasad sederhana.	Tidak dilakukan uji akurasi terhadap LOD2, tidak menggunakan foto udara untuk validasi bentuk atap yang dihasilkan dari pengolahan LiDAR.

Tabel 2.2 (Lanjutan)

Penulis (Tahun)	Judul	Kelebihan	Kekurangan
Zheng, Y., Weng, W., Zheng, Y. (2017)	<i>A Hybrid Approach for Three-Dimensional Building Reconstruction in Indianapolis from LiDAR Data</i>	Menggunakan metode manual sehingga akurasi lebih baik, melakukan uji akurasi LOD, terdapat analisis kemiringan dan aspek .	Tidak dilakukan uji akurasi geometri, membuat <i>script</i> sendiri sehingga lebih sulit.
Turksever, S. (2015)	<i>3D Modeling With City Engine</i>	Menggunakan metode semi otomatis, objek yang dimodelkan lebih kompleks seperti tempat parkir, danau, hutan, dan jalan.	Tidak dilakukan uji akurasi terhadap model yang dihasilkan

Tabel 2.2 (Lanjutan)

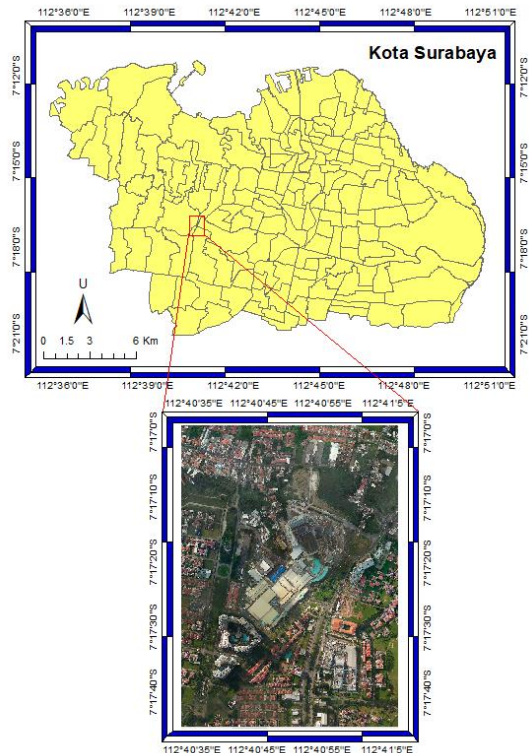
Penulis (Tahun)	Judul	Kelebihan	Kekurangan
Aiman, A.A., Abdullah, A., Noor, N.M. (2018)	<i>Constructing and Modelling 3D GIS Model in City Engine for Traditional Malay City</i>	Menggunakan metode semi otomatis, terdapat klasifikasi bangunan seperti perumahan, bangunan bersejarah, dan pemerintahan.	LOD yang dihasilkan terlalu rendah yaitu LOD1, tidak dilakukan uji akurasi terhadap model yang dihasilkan.

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa sebagian besar tidak melakukan uji akurasi terhadap model yang dihasilkan. Sehingga dalam penelitian ini akan dibuat model kota 3D dengan mempertimbangkan akurasi geometri yang meliputi perhitungan perbedaan luas dan keliling maupun LOD nya.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kota Surabaya ( $7^{\circ}12'$  -  $7^{\circ}42'$  LS dan  $112^{\circ}57'$  -  $112^{\circ}86'$  BT) di daerah sekitar gedung *Pakuwon Trade Center* wilayah Surabaya Barat. Lokasi ini dipilih karena terdapat perbedaan tinggi yang signifikan serta memiliki tutupan lahan dan bentuk bangunan yang beragam. Berikut merupakan gambar dari lokasi pada penelitian ini.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

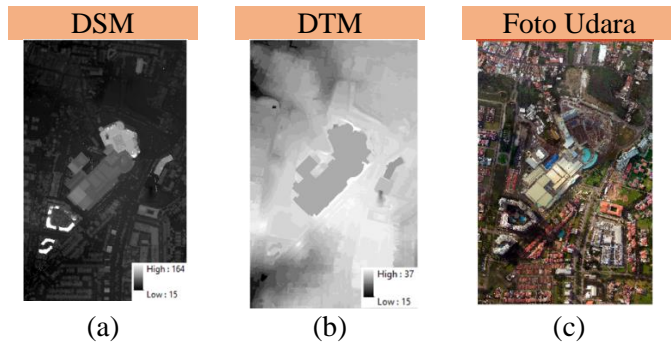
### 3.2 Data dan Peralatan

Data dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data DTM dan DSM Kota Surabaya yang diturunkan dari pengolahan LiDAR pada tahun 2016 dalam format \*.tif. Data ini didapatkan dari Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang (CKTR) Kota Surabaya. Resolusi spasial DTM adalah 40 cm sedangkan DSM adalah 25 cm.

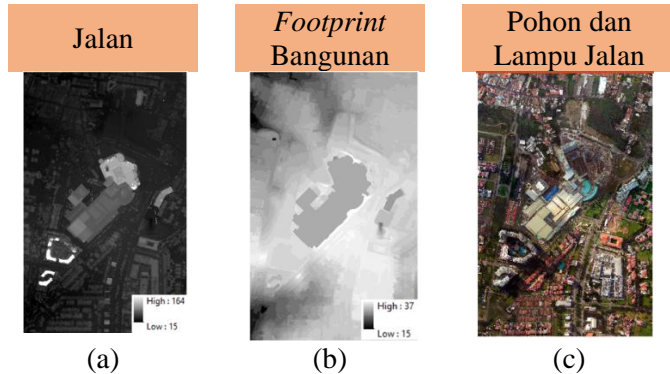


Gambar 3.2 Data raster yang digunakan. (a) DSM, (b) DTM, (c) Foto Udara

2. Data foto udara Kota Surabaya yang diakuisisi pada tahun 2016 dalam format \*.tif. Data ini didapatkan dari Dinas CKTR Kota Surabaya. Resolusi spasialnya adalah 8 cm.
3. Data jaringan jalan Kota Surabaya dalam format \*.shp yang didapatkan dari Dinas CKTR Kota Surabaya dengan skala 1:1000.
4. Data *footprint* bangunan Kota Surabaya dalam format \*.shp yang didapatkan dari Dinas CKTR Kota Surabaya dengan skala 1:1000.



5. Data pohon dan lampu jalan berupa vektor *point \*.shp* hasil digitasi manual dari foto udara.



Gambar 3.3 Data vektor yang digunakan. (a) Jalan, (b) *Footprint Bangunan*, (c) Pohon dan Lampu Jalan

### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang diperlukan dikategorikan menjadi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah *laptop*, *mouse*, dan komputer. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah ArcGIS Pro 2.5, ArcGIS Desktop 10.6 yang meliputi ArcMap dan ArcScene, serta Microsoft Office 365.

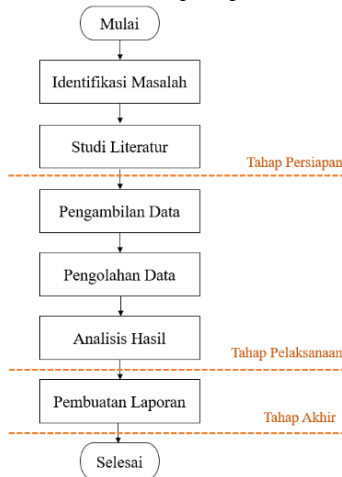


Gambar 3.4 Perangkat lunak yang digunakan. (a) Arcgis Pro, (b) ArcMap, (c) ArcScene, dan (d) Ms Office

### 3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap akhir. Tahap

persiapan meliputi identifikasi masalah dan studi literatur. Tahap pelaksanaan meliputi pengambilan data, pengolahan data, dan analisis hasil. Sedangkan tahap akhir meliputi pembuatan laporan. Berikut merupakan gambar dari tahapan penelitian ini.



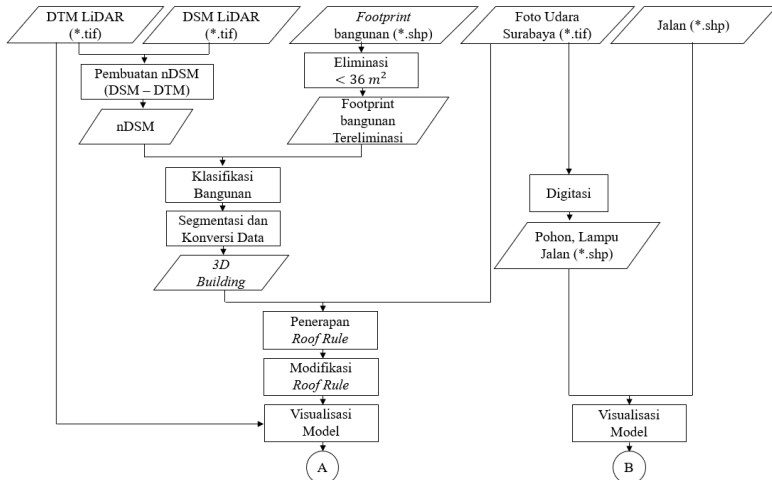
Gambar 3.5 Tahapan Penelitian

### 3.4 Tahap Pengolahan Data

Berikut merupakan tahapan pengolahan data.

1. Pembuatan nDSM: nDSM merupakan singkatan dari *Normalize Digital Surface Model*. nDSM menunjukkan ketinggian suatu objek dari DTM atau *ground* atau tanah, sehingga rumus mencari nDSM adalah  $DSM - DTM$ . nDSM ini akan digunakan untuk mendefinisikan tinggi bangunan.
2. Eliminasi bangunan: menurut Suryo (2017) luas minimal rumah sederhana adalah  $36 \text{ m}^2$ . Berdasarkan hal ini, akan dilakukan eliminasi terhadap bangunan yang memiliki luas kurang dari  $36 \text{ m}^2$ . Selain itu bangunan yang berada di tepi dan terpotong oleh batas studi area juga akan dieliminasi.
3. Klasifikasi bangunan: tahap selanjutnya yaitu mengklasifikasikan bangunan berdasarkan tingginya.

Bangunan di area studi akan diklasifikasikan menjadi bangunan perumahan (*row/planned house*), non-perumahan (*unplanned house*), dan gedung tinggi (*high rise building*).



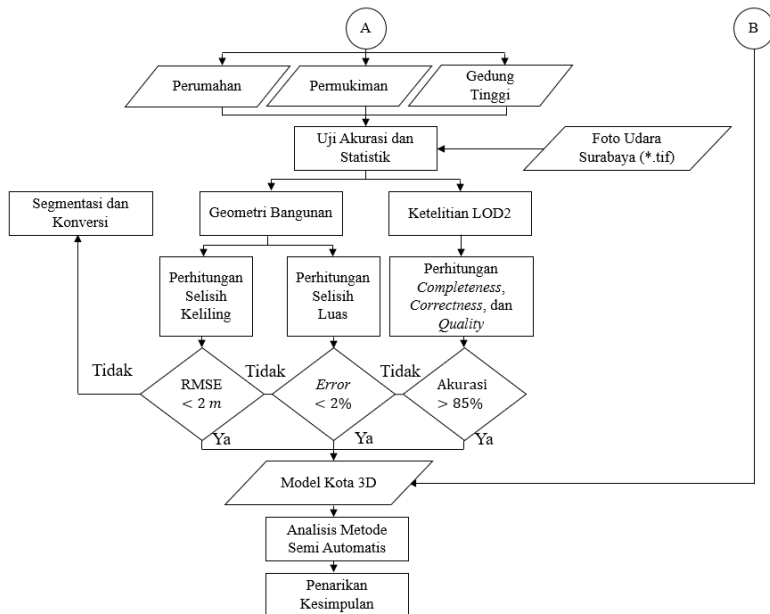
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data Bagian Satu

4. Segmentasi dan konversi data: pada tahap ini dilakukan segmentasi bangunan berdasarkan nDSM serta penambahan informasi ketinggian ke data 2D untuk membuat transformasi data 2D ke data 3D. Segmentasi bangunan dilakukan secara otomatis namun akan diperbaiki secara manual. Segmentasi dilakukan untuk mendapatkan bentuk dan tinggi sub-atap yang akurat. Segmentasi ini merupakan tahap yang sangat krusial pada pembentukan model kota 3D karena segmentasi yang baik dapat membuat model kota yang akurat. Sementara itu, konversi poligon 2D ke poligon 3D melalui tahapan sebagai berikut. Tahap pertama yaitu mendapatkan data ketinggian dengan metode titik acak di setiap poligon. Tahap kedua yaitu mengekstrak nilai ketinggian untuk

setiap poligon berupa nilai ketinggian minimum, maksimum, dan nilai rata-rata. Tahap terakhir yaitu menyelesaikan poligon 2D ke poligon 3D dengan memperoleh atribut elevasi. Nilai ketinggian yang akan digunakan adalah ketinggian berdasarkan puncak arsitektur. Menurut Leardi (2017) ketinggian berdasarkan puncak arsitektur merupakan cara paling umum untuk mengukur bangunan. Bagian atas arsitektur bangunan mencakup struktur atau ornamen bangunan apapun seperti menara atau tembok pembatas, tetapi tidak termasuk peralatan fungsional-teknis. Peralatan fungsional-teknis adalah segala sesuatu yang dapat berubah, seperti tiang bendera dan antenna.

5. Penerapan *roof rule*: pada dasarnya penerapan *rule* adalah mentransformasikan karakteristik dan sifat suatu objek dari deskripsi visual manusia ke bentuk deskripsi tata bahasa. Aturan umum yang disandikan selama proses pemodelan menggambarkan karakteristik eksternal dan sifat intrinsik masing-masing jenis objek dalam bahasa komputer dan juga menjelaskan operasi yang membuat grafik 2D beralih ke grafis 3D. Semakin umum karakteristik masing-masing jenis objek, semakin teratur, aturan semantik yang lebih sederhana dapat digunakan untuk menggambarkan elemen, bentuk, posisi spasial, dan hubungan. *CGA rule* mendefinisikan objek model, seperti bentuk, lokasi spasial, ketinggian, ketinggian lantai, dan atribut lainnya dalam file teks.
6. Modifikasi *roof rule*: sebelum dilakukan modifikasi, perlu adanya konversi nDSM menjadi informasi kemiringan dan aspek. Hal ini penting untuk melakukan koreksi manual pada model (atap bangunan) agar hasilnya lebih akurat. Pada tahap ini dilakukan modifikasi dari *CGA* yang telah disediakan oleh perangkat lunak dengan disesuaikan berdasarkan karakteristik area studi. Modifikasi dilakukan dengan mengubah parameter standar dan *rule* dalam file

teks CGA sehingga model bisa merepresentasikan dengan baik kondisi lapangan.



Gambar 3.7 Diagram Alir Pengolahan Data Bagian Dua

7. Digitasi: dari data foto udara yang ada akan diekstrak informasi untuk pohon dan lampu jalan dengan cara digitasi manual. Ketinggian pohon diekstrak dari nDSM, sedangkan lampu jalan hanya disimbolisasi saja mengikuti *rule* yang sudah ada.
8. Visualisasi model: Setelah selesai membuat model, tahap selanjutnya adalah mengeksport kumpulan model 3D yang dihasilkan dengan informasi semantik dan spasial.
9. Uji akurasi dan statistik: Uji akurasi dalam penelitian ini terdiri dari dua bagian. Bagian pertama yaitu melakukan uji akurasi terhadap geometri bangunan yang meliputi

keliling dan luas model. Model dapat diterima bila memiliki RMSE keliling kurang dari dua meter dan persentase kesalahan luas kurang dari dua persen berdasarkan standar yang ditetapkan oleh OGC dan PMNA BPN. Sedangkan bagian kedua yaitu melakukan uji akurasi LOD terhadap hasil CGA *rule* pada bangunan kemudian dilakukan perhitungan *correctness*, *completeness*, dan *quality* untuk mengetahui tingkat akurasi hasil model. Uji akurasi LOD dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan foto udara. Hasil model akan diterima jika memiliki nilai akurasi lebih dari 85 persen. Jika nilai yang dihasilkan kurang, maka akan kembali pada segmentasi dan konversi data. Setelah uji akurasi, selanjutnya akan dilakukan uji statistik dengan uji *t* dan uji *z*. Uji ini dilakukan untuk melihat perbedaan antara hasil model dengan data poligon bangunan yang asli. Uji statistik dilakukan dengan level signifikansi 0,1 dan tingkat kepercayaan 90%.

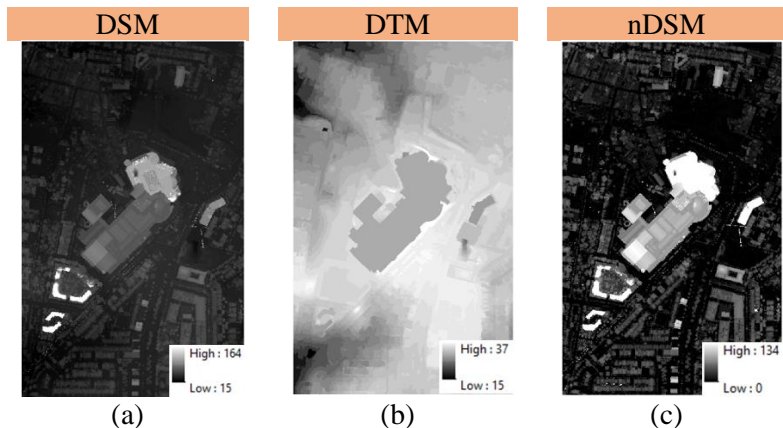
10. Analisis metode semi otomatis: setelah dilakukan uji akurasi, tahap selanjutnya yaitu menganalisis hasil metode semi otomatis secara keseluruhan. Analisis dilakukan berdasarkan perbedaan karakteristik wilayah yang telah diklasifikasikan pada tahap klasifikasi bangunan (tahap nomor 4). Analisis akan ditinjau dari nilai akurasi, kesalahan yang terjadi, kecepatan, dan kesulitan pembentukan model.
11. Penarikan kesimpulan: tahap akhir dari penelitian ini adalah mengambil kesimpulan yang dapat menjawab tujuan penelitian.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan nDSM

Rumus dalam membuat nDSM adalah  $DSM - DTM$ . DSM yang memiliki jangkauan nilai 15 – 164 m akan dikurangkan dengan DTM yang memiliki jangkauan nilai 15 – 37 m. Hasilnya adalah nDSM dengan jangkauan nilai 0 – 134 m. Nilai 0 m merupakan elevasi *ground* dan semua ketinggian dihitung berdasarkan elevasi *ground* ini dengan DTM sebagai *base height* (tinggi dasar). Pembentukan nDSM bisa dilihat pada Gambar 4.1.

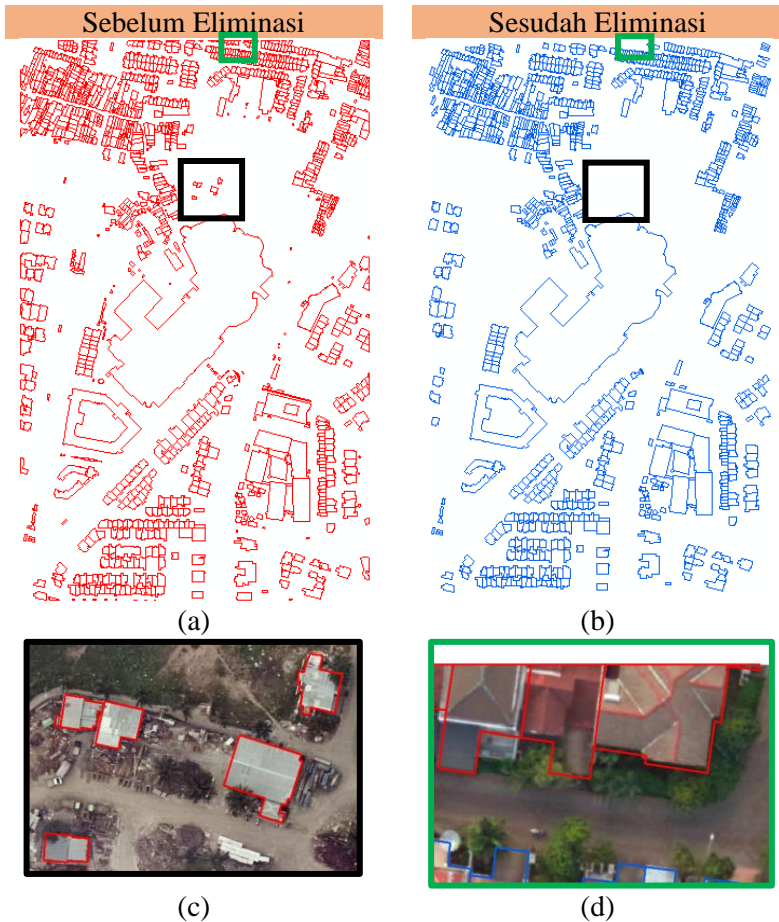


Gambar 4.1 Pembentukan nDSM. (a) DSM, (b) DTM, (c) nDSM

#### 4.2 Eliminasi Bangunan

Eliminasi dilakukan untuk memilih data yang akan diolah. Bangunan yang memiliki luas kurang dari 36 m<sup>2</sup> serta bangunan yang terpotong di tepi akan dieliminasi. Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa sebelum eliminasi dilakukan (poligon merah), banyak poligon kecil yang salah satunya merepresentasikan bangunan sementara orang yang mengerjakan proyek (kotak hitam). Selain itu ada pula poligon bangunan yang

terpotong oleh batas area studi sehingga tidak berbentuk satu bangunan utuh (kotak hijau). Setelah eliminasi dilakukan (poligon biru), poligon-poligon tersebut telah terhapus.



Gambar 4.2 Hasil Eliminasi Bangunan. (a) Sebelum eliminasi, (b) Setelah eliminasi, (c) Bangunan keperluan proyek sementara, (d) Poligon bangunan yang terpotong



Dalam Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat 280 bangunan yang telah dieliminasi. Luas bangunan minimal sebelum eliminasi adalah  $0,01 \text{ m}^2$ . Hal ini tidak mungkin mengingat tidak ada bangunan sekecil itu. Setelah dilakukan eliminasi luas bangunan minimalnya menjadi  $36,073 \text{ m}^2$ . Berikut merupakan tabel yang menunjukkan statistika bangunan sebelum dan sesudah eliminasi.

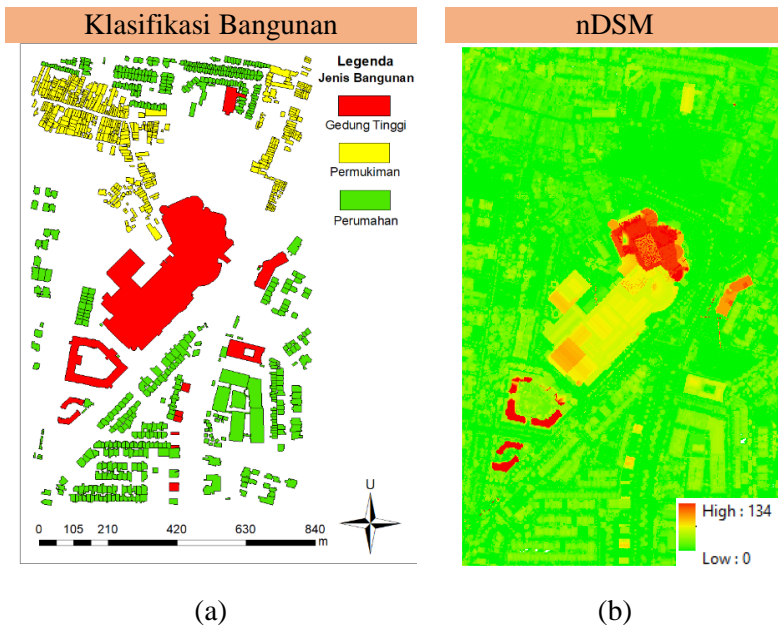
Tabel 4.1 Statistika Bangunan Sebelum dan Sesudah Eliminasi

Bangunan	Sebelum Eliminasi	Sesudah Eliminasi	Selisih
Jumlah	1307	1027	280
Luas Minimal	$0,010 \text{ m}^2$	$36,083 \text{ m}^2$	$36,073 \text{ m}^2$
Luas Maksimal	$89.834,107 \text{ m}^2$	$89.834,107 \text{ m}^2$	$0 \text{ m}^2$
Luas Rata-Rata	$281,782 \text{ m}^2$	$337,476 \text{ m}^2$	$55.694 \text{ m}^2$

#### 4.3 Klasifikasi Bangunan

Klasifikasi bangunan ini didasarkan pada interpretasi pola bangunan, ketinggian, serta pengecekan menggunakan *google maps* untuk mengetahui jenis bangunan. Bangunan akan diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: gedung tinggi, perumahan, dan permukiman. Gedung tinggi pada daerah penelitian meliputi apartemen, pusat perbelanjaan, hotel, dan gedung serbaguna. Perumahan merupakan kumpulan rumah penduduk yang memiliki susunan baris-baris yang rapi. Sedangkan permukiman merujuk pada rumah penduduk yang tidak tertata. Jika dilihat pada gambar 4.3, bangunan jenis gedung tinggi memiliki warna nDSM yang cenderung kuning tua, oranye, dan merah. Sedangkan untuk perumahan dan permukiman memiliki warna hijau kekuningan. Untuk mengetahui statistik tinggi tiap bangunan dilakukan proses ekstraksi data nDSM pada tiap poligon bangunan menggunakan *tools zonal statistics*. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.2. Semua jenis bangunan memiliki nilai

minimum sama dengan nol. Hal ini disebabkan karena banyak *footprint* bangunan yang tepinya tidak tepat pada tepi atap bangunan namun melebihi atap hingga ke tanah (Gambar 4.4). Hal ini mengakibatkan nilai terendah dari ketinggian bangunan sama dengan ketinggian tanah yaitu nol meter dari nDSM. Selain itu, perumahan memiliki tinggi yang lebih besar daripada permukiman (Tabel 4.2). Hal ini disebabkan rata-rata bangunan tempat tinggal di perumahan cenderung merujuk pada rumah mewah yang memiliki jumlah lantai lebih banyak dibandingkan di permukiman.

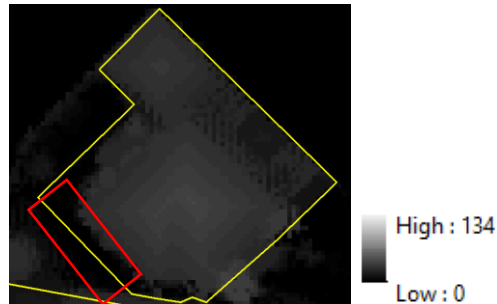


Gambar 4.3 Klasifikasi Bangunan. (a) Klasifikasi bangunan berdasarkan jenis, (b) nDSM

Tabel 4.2 Statistik Tinggi tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Jumlah	Tinggi Minimum	Tinggi Maksimum	Tinggi Rata-Rata
Gedung Tinggi	13	0 m	135 m	9,13 m
Permukiman	445	0 m	34 m	32,49 m
Perumahan	569	0 m	61 m	5,22 m
Total	1027			

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa kotak berwarna merah menunjukkan area yang memiliki ketinggian nol meter karena berwarna hitam. Kotak merah tersebut bertampalan dengan poligon bangunan yang berwarna kuning sehingga poligon bangunan tersebut memiliki nilai ketinggian minimal sama dengan nol meter. Adanya nilai nol ini tidak menjadi masalah karena dalam memodelkan bangunan pada penelitian ini akan digunakan tinggi maksimumnya.

Gambar 4.4 *Footprint* Bangunan dengan Tinggi Minimum Nol

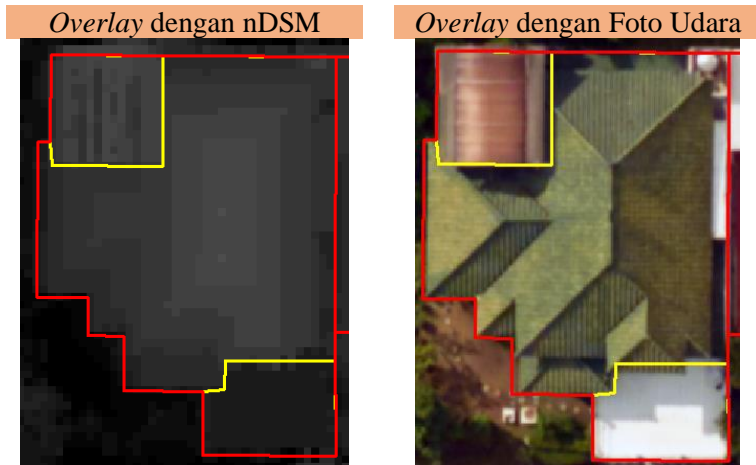
Bangunan dengan jenis gedung tinggi memiliki luas yang lebih besar daripada perumahan maupun permukiman. Hal ini dikarenakan bangunan gedung tinggi cenderung digunakan untuk berkumpul orang banyak seperti apartemen, pusat perbelanjaan, dan gedung serbaguna. Sedangkan bangunan jenis perumahan juga lebih luas daripada permukiman karena perumahan cenderung merujuk pada rumah mewah sehingga kapasitas tampungnya juga lebih banyak.

Tabel 4.3 Statistik Luas tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Luas Minimum	Luas Maksimum	Luas Rata-Rata
Gedung Tinggi	183,88 m <sup>2</sup>	89.834,10 m <sup>2</sup>	9151,60 m <sup>2</sup>
Permukiman	36,08 m <sup>2</sup>	1299,74 m <sup>2</sup>	160,49 m <sup>2</sup>
Perumahan	43,56 m <sup>2</sup>	4275,00 m <sup>2</sup>	275,52 m <sup>2</sup>

#### 4.4 Segmentasi Atap

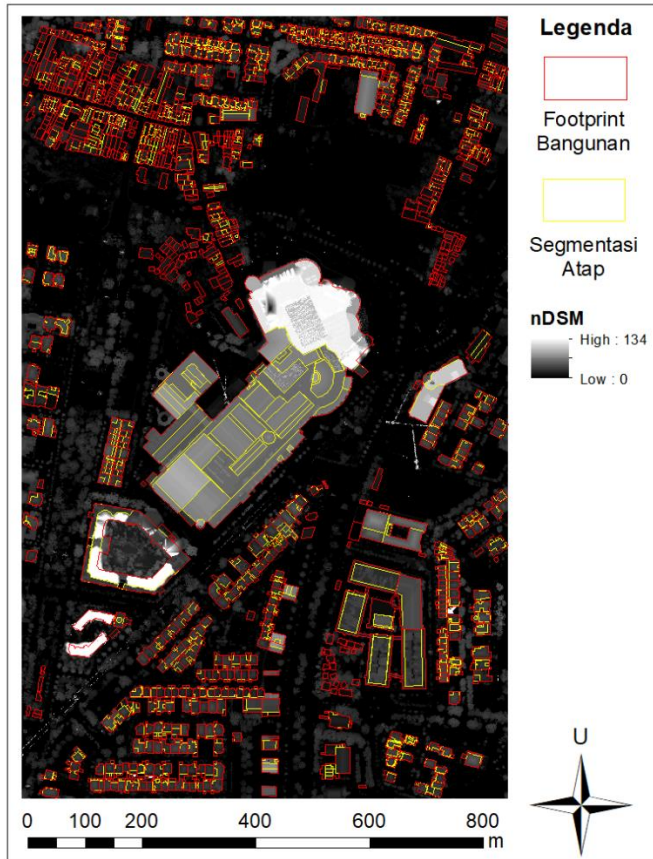
Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa garis merah menunjukkan area atap bangunan secara keseluruhan. Sedangkan garis kuning menunjukkan sub-atap dari bangunan yang menunjukkan jenis atap lain. Pada gambar *overlay* dengan nDSM dapat dilihat bahwa area garis kuning memiliki ketinggian yang berbeda dengan area garis kuning yang lain. Hal ini dapat memberikan tinggi yang akurat tiap luasan atap yang berbeda pada bangunan. Pada penelitian ini didapatkan 2.597 segmentasi atap dari 1027 bangunan yang ada.



Gambar 4.5 Segmentasi Atap

Hasil keseluruhan dari segmentasi atap dapat dilihat pada Gambar 4.6. Dari setiap satu *footprint* bangunan dapat

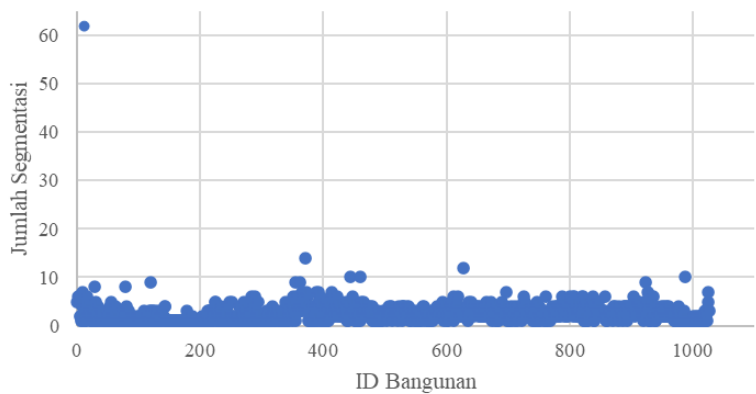
disegmentasi menjadi lebih dari satu segmen berdasarkan perbedaan ketinggian yang terdapat di setiap atap. Berdasarkan Gambar 4.7, kebanyakan dalam satu bangunan disegmentasi menjadi 1 – 10 segmentasi.



Gambar 4.6 Hasil Segmentasi Atap

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa gedung tinggi mendapat banyak segmentasi atap karena memiliki bentuk atap yang unik.

Perumahan juga mendapat segmentasi atap lebih banyak dibandingkan permukiman karena atap-atap perumahan cenderung bervariasi. Atap permukiman biasanya hanya satu tipe saja namun atap perumahan bisa lebih kompleks dan terdiri dari beberapa tipe atap dalam satu rumah.



Gambar 4.7 Grafik Jumlah Segmentasi

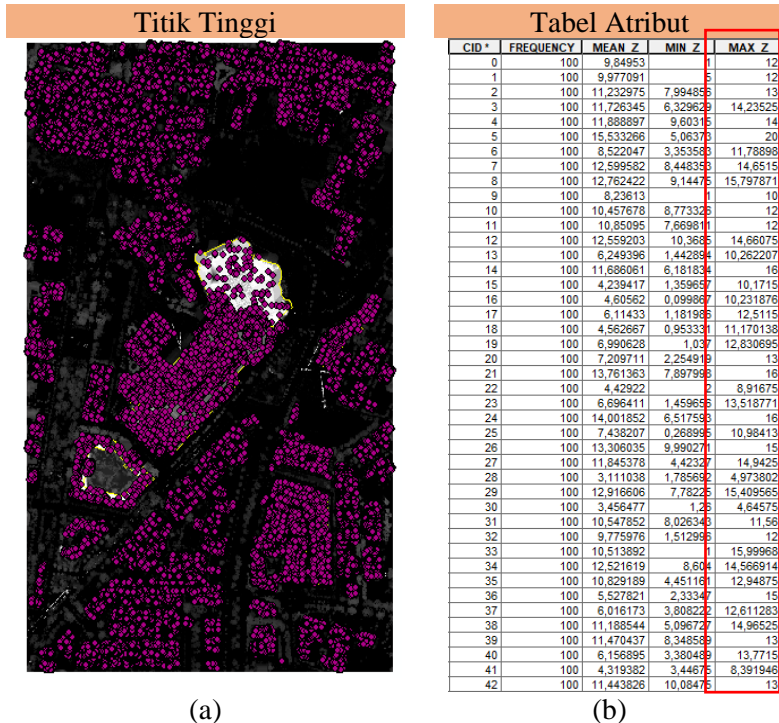
Tabel 4.4 Statistik Segmentasi tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Segmentasi Minimum	Segmentasi Maksimum	Segmentasi Rata-Rata
Gedung Tinggi	1	62	9
Permukiman	1	9	2
Perumahan	1	14	3

4.5 Konversi Data

Konversi ini dilakukan untuk mendapatkan data elevasi dari nDSM yang akan dimasukkan ke poligon sebagai tabel atribut. Pada *rule package* telah disediakan algoritma tersendiri secara otomatis yang dapat mengekstrak tinggi bangunan sehingga hasil konversi ini digunakan sebagai koreksi dari hasil konversi otomatis yang dilakukan oleh perangkat lunak. Gambar 4.8 menunjukkan hasil titik tinggi yang dilakukan dengan menggunakan *tools*

*random points*. Setiap bagian segmentasi atap mendapatkan 100 titik (*default*) untuk mengekstrak nilai ketinggian dari nDSM. Tinggi yang digunakan adalah MAX\_Z karena merupakan puncak arsitektur bangunan.



Gambar 4.8 Konversi Bangunan. (a) Titik tinggi, (b) Tabel atribut yang mengandung informasi ketinggian

Sedangkan pada Tabel 4.5 dapat dilihat nilai statistik tinggi dari segmentasi atap berdasarkan jenis bangunan berupa nilai minimum, maksimum, dan rata-ratanya. Gedung tinggi memiliki ketinggian maksimum 125 m. Sedangkan bangunan tipe perumahan memiliki nilai maksimum tinggi yang lebih besar daripada perumahan yaitu sebesar 56,87 m. Hal ini menunjukkan

bahwa perumahan memang cenderung kepada rumah mewah yang memiliki ukuran besar dan luas dibandingkann permukiman.

Tabel 4.5 Statistik Tinggi Segmentasi Atap

Jenis Bangunan	Tinggi Minimum	Tinggi Maksimum	Tinggi Rata-Rata
Gedung Tinggi	10 m	125 m	32,31 m
Permukiman	2 m	26,95 m	6,74 m
Perumahan	0,5 m	56,87 m	9,69 m

4.6 Pembentukan Bangunan 3D

Pembentukan bangunan 3D dilakukan secara otomatis dengan memasukkan parameter-parameter kedalam perangkat lunak. Parameternya berupa bangunan, DSM, DTM, dan nDSM. Sedangkan untuk membentuk atap, kolom RoofForm diisi dengan nilai *default*.

Buildings

bangunan\_select\_segmen

Elevation Surface (DSM)

DSM

Ground Elevation Surface (DTM)

DTM

Normalized Elevation Surface (nDSM)

nDSM

Output Building Polygons

bangunan\_select\_segmen\_ExtractRoofForm

RoofForm

☐ Create Flat Roofs Only

Minimum Flat Roof Area

23

Minimum Slope Roof Area

7

Minimum Roof Height

2,5

☐ Simplify Buildings

Simplify Tolerance

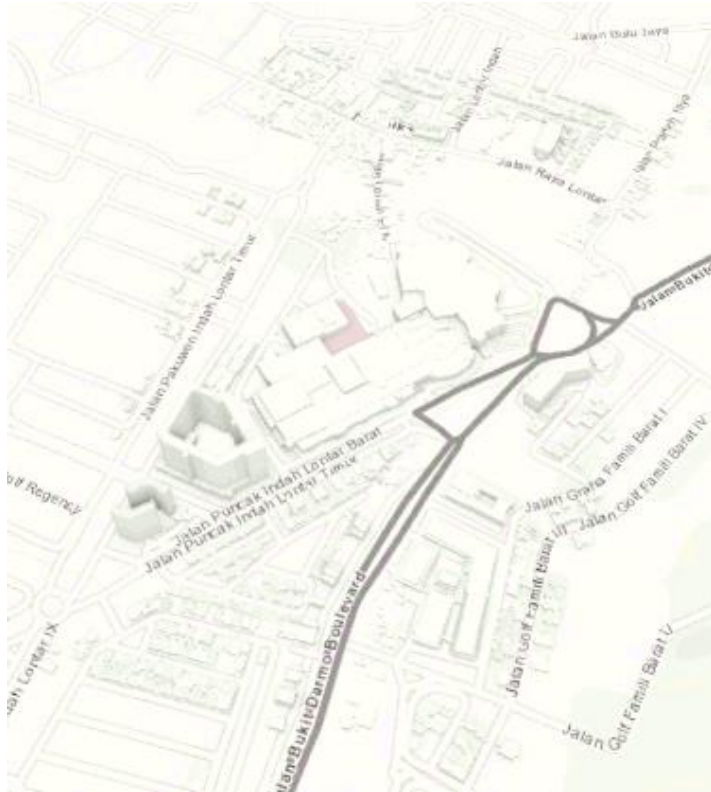
0,1

Gambar 4.9 Parameter Pembentukan Bangunan 3D

Gambar 4.10 menunjukkan hasil dari pembentukan bangunan 3D secara otomatis masih sangat kasar dan belum



berwarna. Sebagian besar bangunan belum terbentuk atapnya sehingga perlu adanya koreksi secara manual untuk membuat model yang akurat.



Gambar 4.10 Model Bangunan 3D Otomatis

#### 4.7 Penerapan *Roof Rule*

*Rule* ini secara otomatis akan dibentuk oleh perangkat lunak kemudian dilakukan pengecekan manual di setiap bangunannya. Pada atribut bangunan yang telah tersegmentasi akan terbentuk beberapa kolom baru yang menunjukkan karakteristik pembentuk

atap. Keterangan kolom-kolom tersebut akan dijelaskan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Keterangan Kolom pada Bangunan

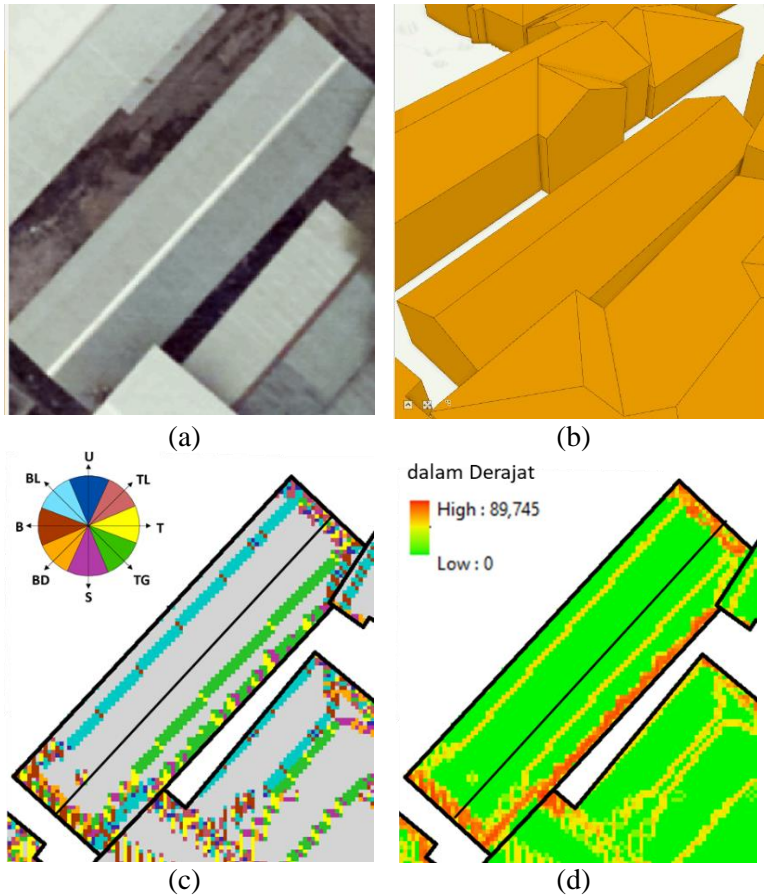
Judul Kolom	Keterangan
ORIG_FID	Nomor identitas bangunan sebelum diterapkan <i>rule</i>
BLDGHEIGHT	Ketinggian bangunan yang diekstrak dari nDSM
EAVEHEIGHT	Tinggi dari dasar bangunan ke bagian atap yang paling bawah
ROOFFORM	Bentuk atap yang tersedia (atap miring/ <i>shed</i> , pelana/ <i>gable</i> , limas/ <i>hip</i> , kubah/ <i>dome</i> , mansard, datar/ <i>flat</i> , dan spherical
BuildingFID	Nomor identitas bangunan setelah diterapkan <i>rule</i>
BASEELEV	Acuan elevasi yang dipakai oleh bangunan. Nilai ini didapatkan dari DTM
ROOFDIR	Arah kompas (dalam derajat) yang menunjukkan arah atap (hanya berlaku untuk atap pelana)
RoofDirAdj	Nilai koreksi untuk ROOFDIR. Nilai 1 digunakan untuk memutar atap 90° berlawanan arah jarum jam. Nilai 2 untuk memutar atap 180°.

Berikut adalah penjelasan mengenai tipe atap yang terdapat pada lokasi penelitian. Pertama adalah tipe atap pelana. Tipe atap ini umum dijumpai di Indonesia. Pada Gambar 4.11 (a) menunjukkan bentuk atap ini merupai segitiga yang memanjang maupun melebar. Secara umum atap pelana memiliki dua buah bidang atap. Jika dilakukan analisis aspek dan kemiringan, akan diketahui bahwa atap pelana memiliki dua aspek dan kemiringan yang berlawanan pada bagian atapnya. Atap pelana pada Gambar

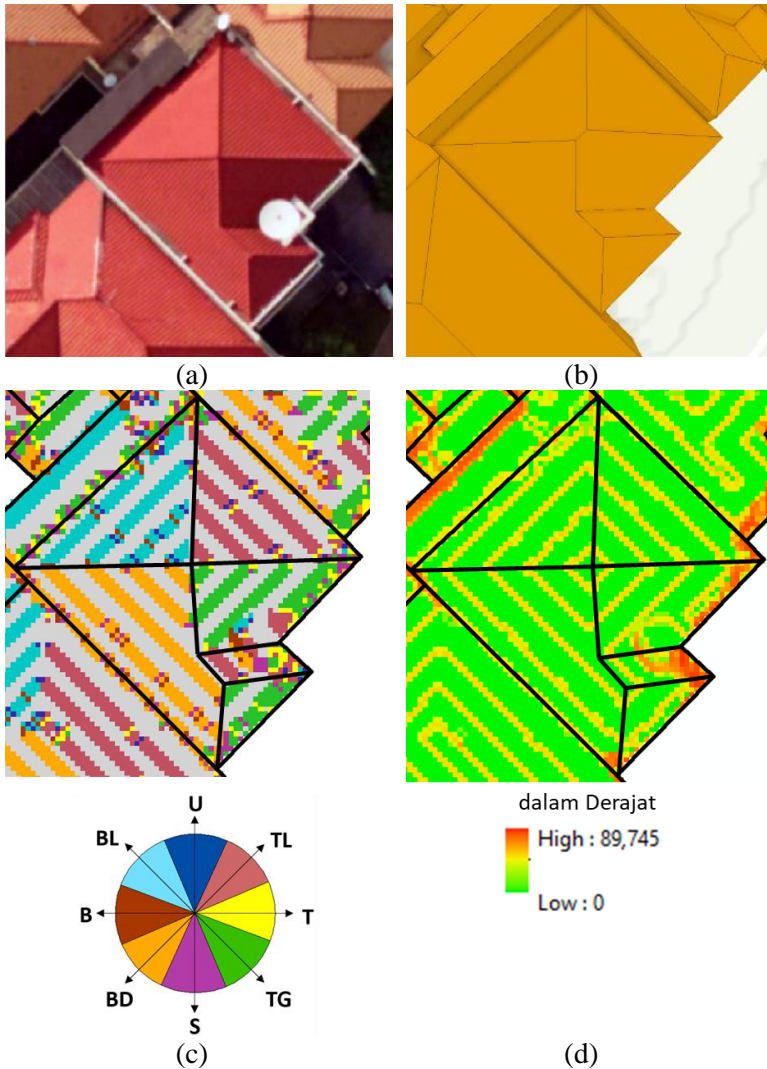
4.11 (c) memiliki dua aspek atau arah orientasi kemiringan menghadap ke tenggara yang ditunjukkan dengan garis warna hijau dan ke barat laut yang ditunjukkan oleh garis warna biru. Pola kemiringan atap pelana pada gambar 4.11 (d) ditunjukkan oleh garis yang sejajar berwarna kuning di setiap bidang atap.

Kedua adalah tipe atap limas. Tipe atap ini juga umum ditemui di Indonesia terutama di daerah perumahan. Pada gambar 4.12 (a) atap ini bisa berbentuk seperti piramida, bisa pula memanjang. Secara umum atap ini memiliki empat bidang atap. Jika dilakukan analisis aspek dan kemiringan, atap limas memiliki empat arah aspek yang berlawanan dengan empat kemiringan yang berlawanan pula pada masing-masing bidang atap. Bisa dilihat pada Gambar 4.12 (c) bahwa atap limas memiliki empat aspek menghadap pada masing-masing arah mata angin yaitu, ke tenggara yang ditunjukkan oleh garis-garis berwarna hijau, ke barat daya yang ditunjukkan oleh garis-garis berwarna oranye, ke barat laut yang ditunjukkan oleh garis-garis berwarna biru, dan ke timur laut yang ditunjukkan oleh garis-garis berwarna pink. Pola kemiringan atap limas ditunjukkan pada Gambar 4.12 (d) berbentuk persegi/persegi panjang berwarna kuning dengan ukuran semakin membesar ke tepi.

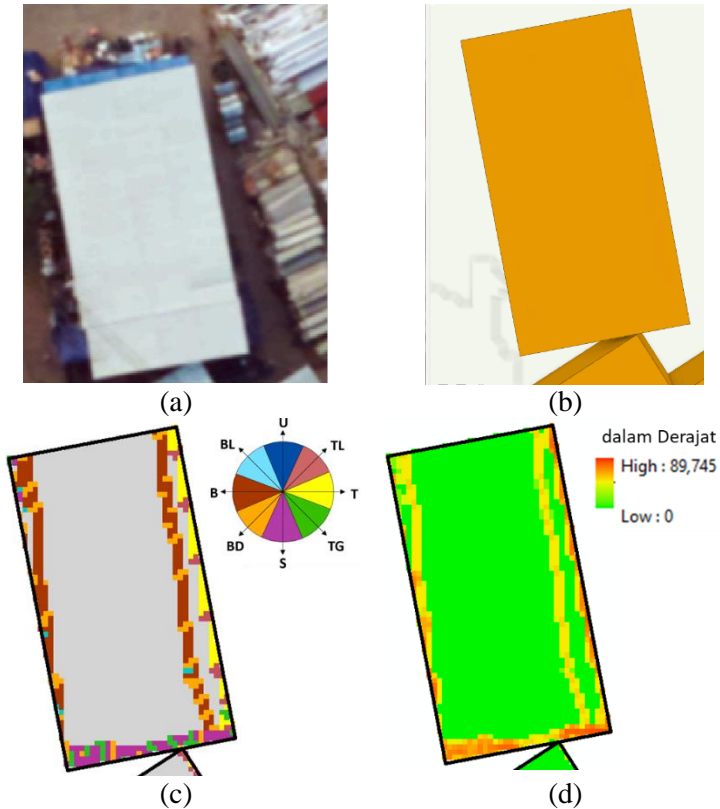
Ketiga adalah tipe atap datar. Tipe atap ini juga umum ditemui di Indonesia terutama di daerah permukiman. Gambar 4.13 (a) menunjukkan atap ini bisa berbentuk persegi maupun persegi panjang. Atap datar hanya memiliki satu bidang atap. Jika dilakukan analisis aspek dan kemiringan, akan diketahui bahwa atap datar hanya memiliki satu aspek yang dominan yaitu aspek ke atas dan tidak memiliki kemiringan. Bisa dilihat pada Gambar 4.13 (c) bahwa atap datar diatas hanya memiliki satu aspek dominan yaitu berwarna abu-abu yang menghadap ke atas. Atap datar tidak memiliki pola kemiringan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13 (d) alias datar karena memang tidak memiliki kemiringan.



Gambar 4.11 Atap Pelana. (a) Atap pelana pada foto udara, (b) Atap pelana pada model, (c) Aspek atap pelana, (d) Kemiringan atap pelana



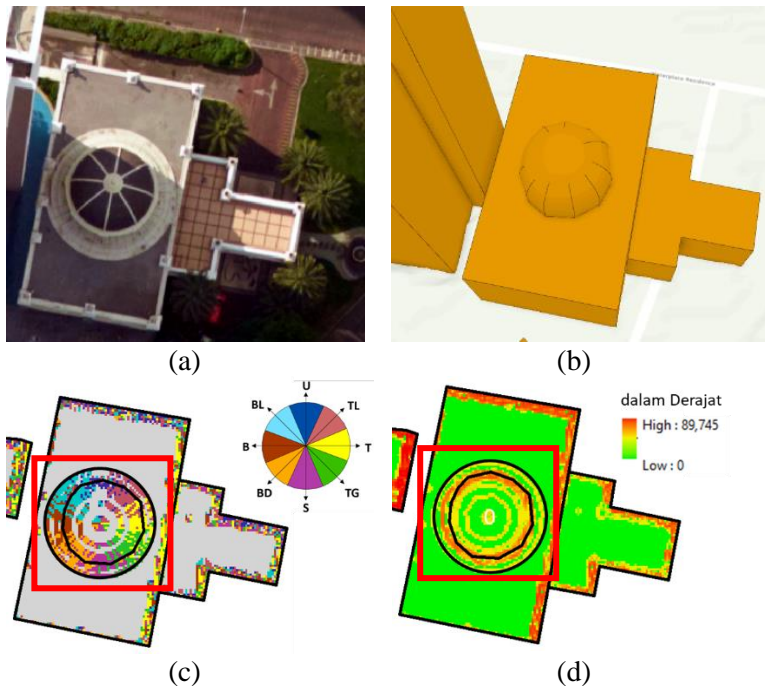
Gambar 4.12 Atap Limas. (a) Atap limas pada foto udara, (b) Atap limas pada model, (c) Aspek atap limas, (d) Kemiringan atap limas



Gambar 4.13 Atap Datar. (a) Atap datar pada foto udara, (b) Atap datar pada model, (c) Aspek atap datar, (d) Kemiringan atap datar

Keempat adalah tipe atap kubah. Tipe atap ini biasanya digunakan pada bangunan masjid dan rumah mewah. Atap ini juga sering digunakan sebagai pelengkap atau ornamen saja, tidak menjadi atap utama. Pada Gambar 4.14 (a) menunjukkan bahwa atap ini berbentuk lingkaran. Jika dilakukan analisis aspek dan kemiringan, akan diketahui bahwa atap kubah memiliki aspek yang menyeluruh di setiap arah mata angin karena bentuknya yang lingkaran. Selain itu kemiringan dari atap kubah juga cenderung curam. Bisa dilihat pada Gambar 4.14 (c) bahwa atap kubah

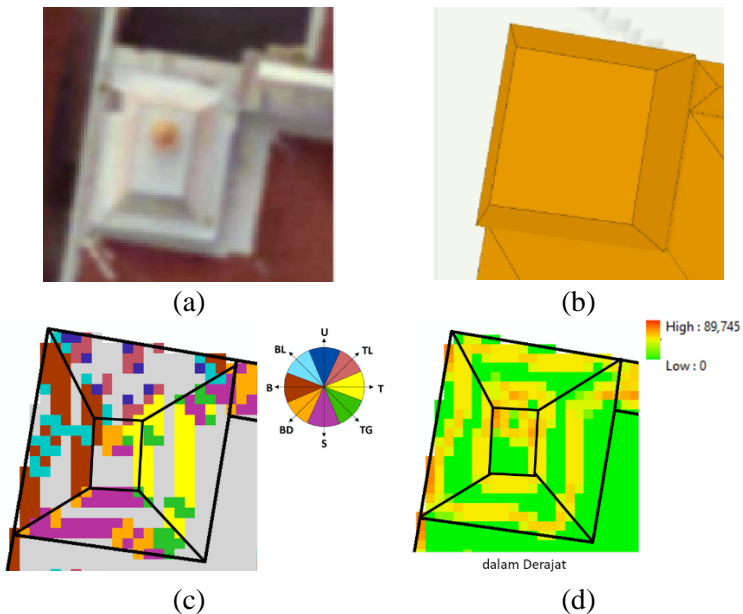
memiliki semua jenis aspek (kotak warna merah) mulai dari utara hingga barat laut. Selain itu kemiringannya juga curam ditunjukkan dengan warna merah pada gambar kemiringan. Pola kemiringannya ditunjukkan pada Gambar 4.14 (d) berbentuk lingkaran yang semakin membesar ukurannya jika mendekati tepi. Pola ini sama dengan pola kemiringan atap limas. Hanya saja jika atap limas berbentuk persegi atau persegi panjang, atap kubah berbentuk lingkaran.



Gambar 4.14 Atap Kubah. (a) Atap kubah pada foto udara, (b) Atap kubah pada model, (c) Aspek atap kubah, (d) Kemiringan atap kubah

Terakhir adalah tipe atap mansard. Tipe atap ini jarang digunakan di Indonesia namun sangat umum di Eropa seperti Prancis. Rumah yang memiliki tipe atap ini biasanya bagian

atapnya digunakan sebagai gudang atau balkon. Pada Gambar 4.15 (a) menunjukkan bahwa atap ini secara sederhana memiliki bentuk persegi. Namun jika di Eropa atapnya bisa sangat kompleks. Di Indonesia atap ini hanya digunakan sebagai pelengkap atap utama. Jika dilakukan analisis aspek dan kemiringan pada Gambar 4.15 (c) akan diketahui bahwa atap mansard memiliki aspek yang hampir menyeluruh di setiap arah mata angin karena bentuknya yang memang menyerupai atap kubah, hanya saja atap mansard ini memiliki sudut. Selain itu pada Gambar 4.15 (d) terlihat bahwa kemiringan dari atap mansard berpola persegi yang semakin membesar jika mendekati tepi. Sama seperti pola atap kubah dan limas.



Gambar 4.15 Atap Mansard. (a) Atap mansard pada foto udara, (b) Atap mansard pada model, (c) Aspek atap mansard, (d) Kemiringan atap mansard



Berikut merupakan jumlah setiap tipe atap pada segmentasi bangunan yang ada di lokasi penelitian.

Tabel 4.7 Jumlah Tipe Atap

Tipe Atap	Jumlah
Kubah ( <i>Dome</i> )	13
Datar ( <i>Flat</i> )	1.787
Pelana ( <i>Gable</i> )	264
Limas ( <i>Hip</i> )	441
Mansard	1
Jumlah	2.506

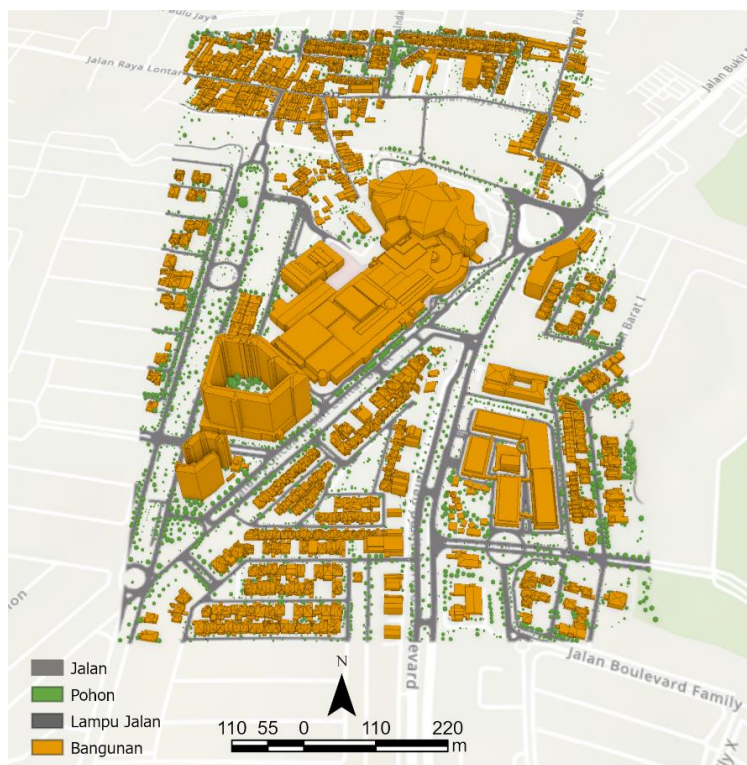
Setiap atap yang dihasilkan memiliki karakteristik yang berbeda. Tipe atap pelana banyak ditemui di perumahan bagian utara lokasi penelitian serta sedikit di permukiman. Sedangkan tipe limas banyak ditemui di perumahan bagian selatan lokasi penelitian. Untuk tipe atap datar kebanyakan dimiliki oleh permukiman penduduk yang di daerah kampung. Sedangkan tipe atap kubah dan mansard hanya digunakan di beberapa tempat untuk tambahan saja.

#### 4.8 Visualisasi Model

Gambar 4.15 menunjukkan model kota 3D secara keseluruhan yang dihasilkan dari penelitian ini. Sedangkan pada tabel 4.8 menunjukkan jumlah tiap objek yang terdapat pada model kota 3D yang telah dibuat.

Tabel 4.8 Jumlah Objek dalam Kota 3D





Objek	Jumlah
Bangunan	955
Segmentasi Atap	2.506
Pohon	2.866
Lampu Jalan	476
Jalan	74



Gambar 4.16 Model Kota 3D pada Area *Pakuwon Trade Center*

Berikut merupakan contoh objek 3D dari dekat.

Tabel 4.9 Objek dalam Kota 3D

Bangunan	Pohon	Jalan	Lampu Jalan
			

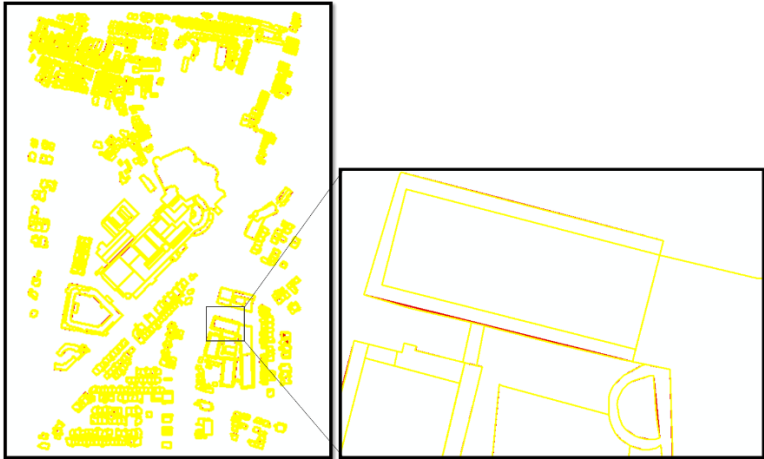
Pemodelan bangunan dan atapnya telah dijelaskan di pembahasan sebelumnya. Pohon dimodelkan menggunakan simbologi yang sudah tersedia di perangkat lunak. Sedangkan besar kecilnya pohon mengacu pada tinggi pohon yang telah diekstrak nilainya dari nDSM. Jalan juga dimodelkan berdasarkan simbologi pada perangkat lunak dengan nama “*asphalt*”. Lampu jalan juga dimodelkan dengan simbol *default* dari perangkat lunak. Lampu jalan disimbolkan dengan dua simbol yang berbeda. Simbol pertama untuk lampu jalan tunggal yang memiliki hanya satu lampu. Simbol kedua untuk lampu jalan ganda yang memiliki dua lampu dalam satu tiang. Lampu jalan kedua biasa dipasang di taman yang berada di tengah jalan besar (bulevar). Objek yang akan diuji akurasi dan analisis pada tahap selanjutnya adalah bangunan saja karena pohon, jalan, dan lampu jalan hanya sebagai pelengkap.

#### 4.9 Uji Akurasi Keliling

Uji akurasi dilakukan menjadi dua bagian yaitu uji akurasi geometri dan uji akurasi LOD2. Uji akurasi geometri bangunan dilakukan dengan mengubah file *multipatch* hasil model menjadi bentuk poligon *footprint* kembali. Poligon hasil *multipatch* ini akan dibandingkan dengan data *footprint* bangunan yang asli dalam aspek keliling dan luasnya.

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa poligon kuning menunjukkan data *footprint* yang asli atau *original footprint*, sedangkan poligon merah menunjukkan *footprint* hasil *multipatch* model. Perbedaan keliling yang ada akan dihitung RMSE nya dengan menggunakan persamaan (2.2) sedangkan perbedaan luas akan dihitung menggunakan persamaan (2.3). Dari hasil pemodelan kota 3D didapatkan 2.506 segmentasi atap. Semua diikutkan dalam perhitungan uji akurasi.

Tabel 4.10 menunjukkan ringkasan dari perhitungan RMSE keliling. Selain perhitungan RMSE keliling secara keseluruhan, tiap jenis atap juga dihitung RMSE kelilingnya masing-masing. Hasil perhitungan RMSE keliling tiap jenis atap ditunjukkan pada Tabel 4.11.



Gambar 4.17 Perbedaan Poligon *Multipatch* dan Data Asli

Berdasarkan toleransi yang diperbolehkan yaitu 2 m yang mengacu pada standar OGC, nilai RMSE keliling hasil perhitungan model sebesar 0,921 m tersebut bisa diterima karena berada dibawah nilai toleransi. Artinya model yang dihasilkan memiliki konsistensi yang bagus dalam mengubah poligon asli ke *multipatch* begitupula mengubah dari *multipatch* ke poligon kembali.

Tabel 4.10 Perhitungan RMSE Keliling Keseluruhan

Rata-rata <i>error</i>	0,059 m
Jumlah <i>error</i> <sup>2</sup>	2124,568 m
Jumlah Segmentasi Atap	2.506
Rata-rata <i>error</i> <sup>2</sup>	0,848 m
RMSE Keliling	0,921 m

Pada perhitungan RMSE tiap jenis atap yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa semua jenis atap memenuhi toleransi RMSE keliling sebesar 2 m. Tipe atap kubah memiliki RMSE yang besar yaitu 1,351 m. Selanjutnya ada tipe atap mansard, pelana, limas, dan datar. Nilai RMSE yang besar

dipengaruhi oleh jumlah atap kubah dan mansard yang sedikit serta kesalahan dalam pemodelan.

Tabel 4.11 Hasil RMSE Keliling Tiap Jenis Atap

Jenis Atap	Jumlah	RMSE Keliling
Kubah	13	1,351 m
Datar	1.787	0,107 m
Pelana	264	0,206 m
Limas	441	0,180 m
Mansard	1	0,245 m
Jumlah	2506	

Jika ditinjau dari jenis bangunan pada segmentasi atap, dapat dilihat pada Tabel 4.12 bahwa gedung tinggi memiliki RMSE keliling terbesar yaitu 1,128 m dibandingkan dengan perumahan maupun permukiman. Hal ini dikarenakan gedung tinggi memiliki struktur atap yang unik dan kompleks. Namun nilai tersebut masih memenuhi toleransi sehingga modelnya dapat diterima.

Tabel 4.12 Hasil RMSE Keliling Tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Jumlah Segmentasi	RMSE Keliling
Gedung Tinggi	101	1,128 m
Permukiman	578	0,163 m
Perumahan	1827	0,085 m
Jumlah	2506	

#### 4.10 Uji Akurasi Luas

Perhitungan uji akurasi luas menggunakan standar yang ditentukan oleh PMNA BPN berupa persentase beda luas sebesar 2%. Tabel 4.13 menunjukkan ringkasan dari perhitungan persentase luas secara keseluruhan. Hasil perhitungan persentase beda luas secara keseluruhan menunjukkan bahwa model yang dihasilkan bisa diterima dengan persentase beda luas sebesar 0,34% dari toleransi 2%. Selain perhitungan persentase beda luas secara keseluruhan, tiap jenis atap juga dihitung persentase beda luas masing-masing. Hasil perhitungan persentase beda luas tiap

jenis atap ditunjukkan pada Tabel 4.14. Kemudian juga dihitung persentase beda luas tiap jenis bangunan yang ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.13 Perhitungan Persentase Beda Luas Keseluruhan

Rata-rata <i>error</i>	0,550 m <sup>2</sup>
Rata-rata luas <i>original footprint</i>	135,407 m <sup>2</sup>
Jumlah segmentasi atap	2.506
Persentase beda luas	0,343%

Pada perhitungan persentase beda luas tiap jenis atap yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa tidak semua jenis atap memenuhi toleransi persentase beda luas sebesar 2 m. Tipe atap kubah dan limas memiliki persentase beda luas yang besar yaitu 2,431% dan 2,7% dan nilai ini tidak memenuhi toleransi. Hal ini bisa disebabkan karena jumlah tipe atap ini yang sedikit serta banyaknya kesalahan yang terjadi saat pemodelan.

Tabel 4.14 Persentase Beda Luas Tiap Jenis Atap

Jenis Atap	Jumlah	Persentase Beda Luas
Kubah	13	2,431 %
Datar	1787	0,067 %
Pelana	264	0,910 %
Limas	441	2,700 %
Mansard	1	1,900 %
Jumlah	2506	

Jika ditinjau dari jenis bangunan pada segmentasi atap, dapat dilihat pada Tabel 4.15 bahwa gedung tinggi memiliki persentase beda luas terbesar yaitu 7,402% dibandingkan dengan perumahan maupun permukiman. Sama seperti yang terjadi saat perhitungan uji akurasi keliling. Hal ini dikarenakan gedung tinggi memiliki struktur atap yang unik dan kompleks sehingga sulit untuk dimodelkan.

Tabel 4.15 Hasil Persentase Beda Luas Tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Jumlah Segmentasi	Persentase Beda Luas
Gedung Tinggi	101	7,402%
Permukiman	578	1,667%
Perumahan	1827	0,053%
Jumlah	2506	

#### 4.11 Uji Statistik

Uji statistik dilakukan dengan menggunakan uji  $t$  dan uji  $z$ . Uji ini dipilih berdasarkan data yang dimiliki yaitu memiliki rata-rata dan jumlah data yang ada. Jika datanya memiliki jumlah kurang dari 30 maka akan dilakukan uji  $t$ . jika datanya memiliki jumlah lebih dari 30 maka akan dilakukan uji  $z$ . Uji ini akan diterapkan pada masing-masing perhitungan keliling dan luas tipe atap dan jenis bangunan. Level signifikan yang digunakan adalah 0,1 dengan tingkat kepercayaan 90%. Uji statistik akan dilakukan menggunakan uji dua sisi atau *two-tail test*. Hipotesis awal dan alternatif yang digunakan pada uji statistik adalah sebagai berikut.

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad (4.1)$$

$$H_a: \mu \neq \mu_0 \quad (4.2)$$

$H_0$  merupakan hipotesis awal,  $\mu$  merupakan nilai rata-rata dari data model, sedangkan  $\mu_0$  merupakan nilai rata-rata dari data validasi. Nilai  $t$  hitung dan  $z$  hitung dicari dengan rumus 4.3 dan 4.4.

$$t_{hitung} = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} \quad (4.3)$$

$$z_{hitung} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (4.4)$$

$\bar{x}$  merupakan nilai rata-rata model,  $s$  merupakan standar deviasi dari model,  $\sigma$  merupakan standar deviasi dari poligon asli, sedangkan  $n$  merupakan banyaknya data. Berikut merupakan hasil dari uji statistik.

#### 4.11.1 Uji Statistik Keliling

Tabel 4.16 menunjukkan rangkuman dari statistik keliling pada tiap tipe atap. Sedangkan pada Tabel 4.17 menunjukkan rangkuman statistik keliling pada tiap jenis bangunan.

Tabel 4.16 Statistik Keliling Tiap Tipe Atap

Tipe	$n$	$\bar{x}$ keliling	$\mu$ keliling	$s$ keliling
Kubah	13	24,050	24,052	15,402
Datar	1782	38,792	38,807	60,500
Pelana	264	49,657	49,681	50,584
Limas	439	60,540	60,643	53,656
Mansard	1	19,307	19,300	19,307

Tabel 4.17 Statistik Keliling Tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	$n$	$\bar{x}$ keliling	$\mu$ keliling	$s$ keliling
Gedung Tinggi	101	157,116	157,139	228,572
Permukiman	576	41,071	41,108	19,921
Perumahan	1822	38,200	38,238	31,658

Setelah diketahui statistiknya, dilakukan perhitungan  $t$  hitung dan  $z$  hitung menggunakan persamaan 4.3 dan 4.4. Kemudian akan ditentukan posisi  $t$  hitung dan  $z$  hitung tersebut terhadap *critical value* atau batas bawah dan atas yang didapatkan dari tabel uji statistik.  $H_0$  akan diterima jika nilai  $t$  hitung dan  $z$  hitung berada pada jangkauan berikut.

$$\text{batas bawah} < t_{\text{hitung}} \text{ atau } z_{\text{hitung}} < \text{batas atas}$$



Sedangkan untuk hasil perhitungan uji statistiknya ditunjukkan pada Tabel 4.18 dan 4.19. Hasil menunjukkan bahwa nilai  $t$  hitung dan  $z$  hitung berada pada daerah diterima. Oleh karena itu,  $H_0$  diterima sehingga kesimpulannya tidak ada perbedaan signifikan pada perhitungan keliling antara poligon model dan poligon asli pada level signifikan 0,1 dan tingkat kepercayaan 90%.

Tabel 4.18 Hasil Uji Statistik Keliling Tiap Tipe Atap

Tipe Atap	Nilai Hitung	<i>Critical Value</i>		Keterangan
Kubah	-0,00038425	-1,782	1,782	Diterima
Datar	-0,010198155	-1,645	1,645	Diterima
Pelana	-0,007804378	-1,645	1,645	Diterima
Limas	-0,040063618	-1,645	1,645	Diterima
Mansard	0,000359053	-1,782	1,782	Diterima

Tabel 4.19 Hasil Uji Statistik Keliling Tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Nilai Hitung	<i>Critical Value</i>		Keterangan
Gedung Tinggi	-0,001001325	-1,645	1,645	Diterima
Permukiman	-0,044341442	-1,645	1,645	Diterima
Perumahan	-0,050962848	-1,645	1,645	Diterima

#### 4.11.2 Uji Statistik Luas

Tabel 4.20 menunjukkan rangkuman dari statistik luas pada tiap jenis bangunan. Sedangkan pada Tabel 4.21 menunjukkan rangkuman statistik luas pada tiap tipe atap.

Tabel 4.20 Statistik Luas Tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	$n$	$\bar{x}$ Luas	$\mu$ Luas	$s$ Luas
Gedung Tinggi	101	1173,240	1173,969	157,116
Permukiman	576	91,132	91,280	41,071
Perumahan	1822	91,695	91,863	38,200

Tabel 4.21 Statistik Luas Tiap Tipe Atap

Tipe	$n$	$\bar{x}$ Luas	$\mu$ Luas	$s$ Luas
Kubah	13	59,291	59,344	103,630
Datar	1782	105,630	105,756	428,844
Pelana	264	218,421	218,510	1486,423
Limas	439	208,466	208,837	407,735
Mansard	1	23,262	23,348	23,348

Sedangkan untuk hasil perhitungan uji statistiknya ditunjukkan pada Tabel 4.22 dan 4.23. Hasil menunjukkan bahwa nilai  $t$  hitung dan  $z$  hitung berada pada daerah diterima. Oleh karena itu,  $H_0$  diterima sehingga kesimpulannya tidak ada perbedaan signifikan pada perhitungan luas antara poligon model dan poligon asli pada level signifikan 0,1 dan tingkat kepercayaan 90%.

Tabel 4.22 Hasil Uji Statistik Luas Tiap Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Nilai Hitung	<i>Critical Value</i>		Keterangan
Gedung Tinggi	-0,002570133	-1,645	1,645	Diterima
Permukiman	-0,042181572	-1,645	1,645	Diterima
Perumahan	-0,040302466	-1,645	1,645	Diterima

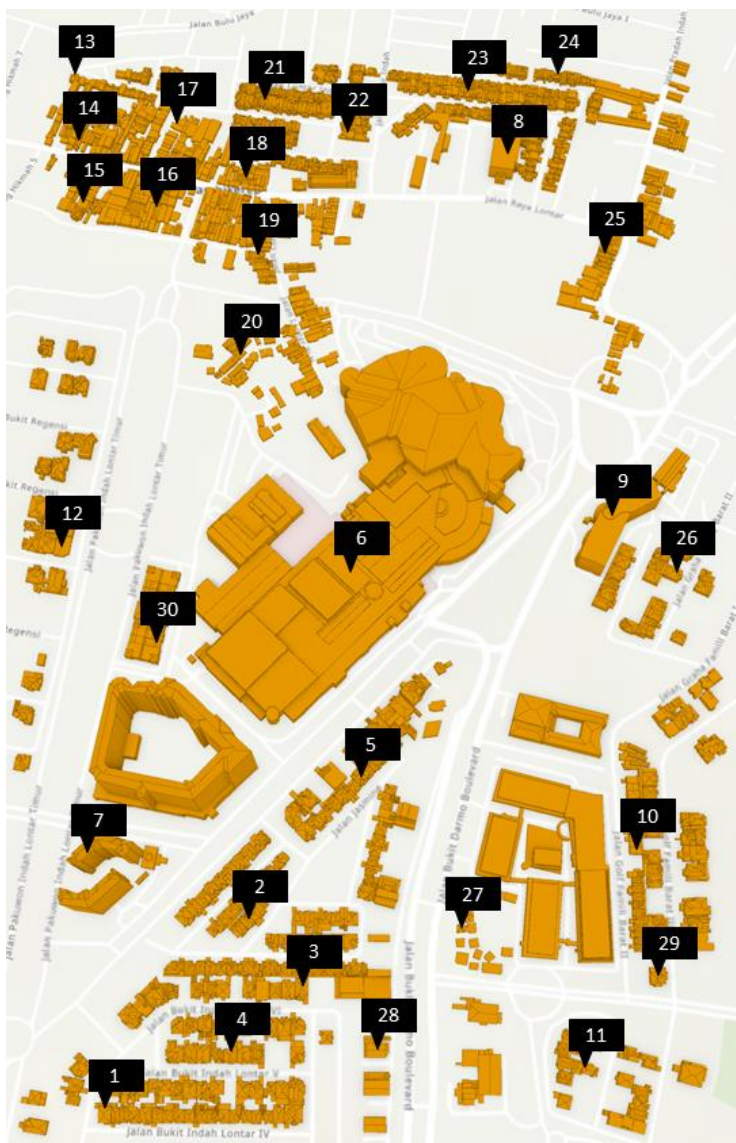
Tabel 4.23 Hasil Uji Statistik Luas Tiap Tipe Atap

Tipe Atap	Nilai Hitung	<i>Critical Value</i>		Keterangan
Kubah	-0,001853504	-1,782	1,782	Diterima
Datar	-0,012387003	-1,645	1,645	Diterima
Pelana	-0,000980981	-1,645	1,645	Diterima
Limas	-0,019058659	-1,645	1,645	Diterima
Mansard	-0,003707661	-1,782	1,782	Diterima

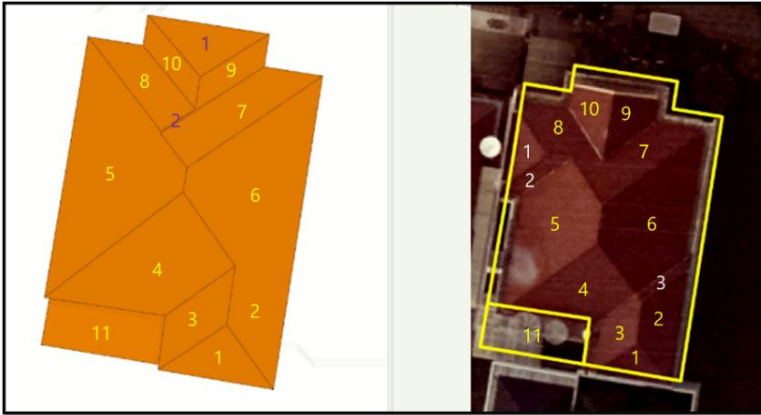
#### 4.12 Uji Akurasi LOD2

Uji yang terakhir adalah uji akurasi terhadap LOD. Uji akurasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan foto udara. Secara garis besar, dari 955 bangunan ada pada lokasi studi terdapat 822 bangunan yang berhasil dimodelkan dengan benar serta 133 bangunan yang gagal dimodelkan, sehingga terdapat 86,07% bangunan yang termodelkan dengan baik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model ini dapat diterima. Namun untuk mengetahui kesalahan tiap bangunan perlu adanya pengujian lebih lanjut. Oleh karena itu dipilih 30 bangunan untuk dihitung nilai *completeness*, *correctness*, dan *quality*. Bangunan yang dipilih ditunjukkan pada gambar 4.17. Uji ini dilakukan dengan membandingkan jumlah *roof plane* dalam model dan dalam data validasi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *completeness*, *correctness*, dan *quality* adalah persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6). Cara menghitung TP, FP, dan FN yang ada di persamaan berikut ditunjukkan pada Gambar 4.18. Angka berwarna kuning menunjukkan TP yaitu bidang atap yang ada di model dan ada di foto udara, angka berwarna ungu menunjukkan FP yaitu bidang atap yang ada di model namun tidak ada di foto udara, dan angka berwarna putih menunjukkan FN yaitu bidang atap yang ada di foto udara namun tidak terbentuk di model.

Tabel 4.16 menunjukkan perhitungan *completeness*, *correctness*, dan *quality* dari 30 bangunan. Dari Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa dari 30 bangunan yang gagal dimodelkan namun kesalahannya masih dapat diterima yaitu bangunan nomor 2, 4, dan 29. Nilai yang dilihat adalah kolom *quality*. Nilai tersebut memenuhi toleransi yang disyaratkan yaitu 85%. Hal ini menunjukkan bahwa jika suatu bangunan sudah gagal untuk dimodelkan, hal yang harus dilakukan adalah mendetailkan segmentasi.



Gambar 4.18 Sebaran 30 Bangunan yang Dihitung Kesalahannya



Gambar 4.19 Perhitungan TP, FP, dan FN pada Bidang Atap

Tabel 4.24 Perhitungan *completeness*, *correctness*, dan *quality* pada 30 bangunan

No	TP	FP	FN	<i>Completeness</i>	<i>Correctness</i>	<i>Quality</i>
1	9	0	2	81,8	100,0	81,8
2	17	1	0	100,0	94,4	94,4
3	10	6	8	55,6	62,5	41,7
4	10	1	0	100,0	90,9	90,9
5	11	3	2	84,6	78,6	68,8
6	47	28	0	100,0	62,7	62,7
7	6	22	1	85,7	21,4	20,7
8	4	0	4	50,0	100,0	50,0
9	5	0	2	71,4	100,0	71,4
10	2	0	3	40,0	100,0	40,0
11	9	5	0	100,0	64,3	64,3
12	3	0	1	75,0	100,0	75,0
13	4	5	2	66,7	44,4	36,4
14	4	4	5	44,4	50,0	30,8
15	2	0	2	50,0	100,0	50,0

Tabel 4.16 (Lanjutan)

16	4	0	1	80,0	100,0	80,0
17	3	0	1	75,0	100,0	75,0
18	5	1	0	100,0	83,3	83,3
19	6	0	2	75,0	100,0	75,0
20	1	2	1	50,0	33,3	25,0
21	7	2	0	100,0	77,8	77,8
22	4	3	4	50,0	57,1	36,4
23	3	3	3	50,0	50,0	33,3
24	7	5	0	100,0	58,3	58,3
25	4	2	2	66,7	66,7	50,0
26	11	3	0	100,0	78,6	78,6
27	4	4	0	100,0	50,0	50,0
28	6	1	2	75,0	85,7	66,7
29	16	2	0	100,0	88,9	88,9
30	3	0	2	60,0	100,0	60,0

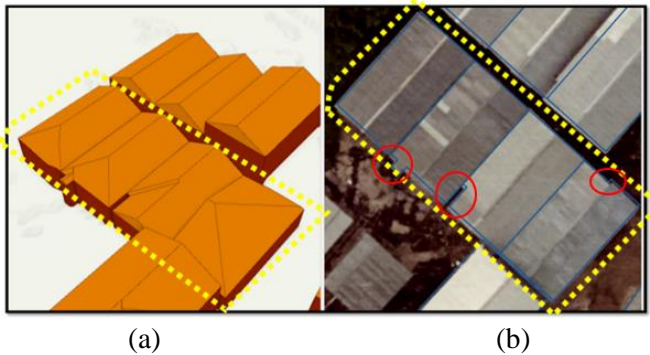
#### 4.13 Analisis Metode Semi Automatis

Analisis metode semi otomatis terhadap pembuatan model kota 3D dilakukan dengan menganalisis kesalahan dan tingkat kesulitan yang terjadi saat pembuatan model. Berikut adalah uraian lengkapnya.

##### 4.13.1 Kesalahan

Saat memodelkan bangunan dengan menggunakan metode semi otomatis, akan ditemui beberapa ketidaksesuaian antara objek asli dengan model. Ketidaksesuaian ini merupakan bentuk kesalahan yang perlu diperhatikan untuk pengembangan perangkat lunak, algoritma, maupun metodologi kedepannya. Kesalahan pertama adalah *over segmentation* pada Gambar 4.18. Kesalahan ini terjadi saat model yang dihasilkan tidak sesuai dengan objek asli dikarenakan terlalu detil saat melakukan segmentasi. Bentuk yang sederhana menjadi lebih kompleks karena *over segmentation* ini. Pada Gambar 4.18

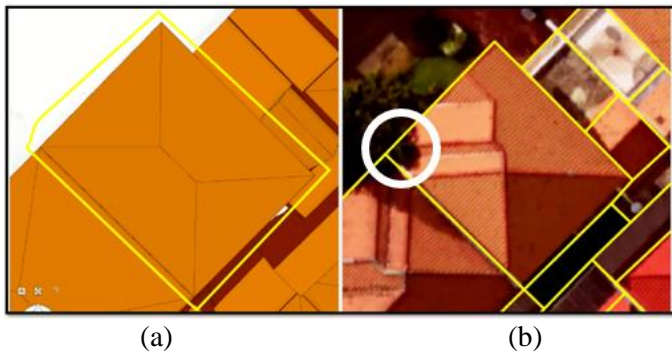
seharusnya empat bangunan tersebut memiliki dua *roof plane*. Tetapi dalam model terbentuk tiga *roof plane* bahkan lebih karena terdapat segmen kecil (lingkaran berwarna merah) yang membuat algoritma membentuk *roof plane* lain. Solusi untuk mengatasi kesalahan ini adalah menyederhanakan segmentasi.



Gambar 4.20 Contoh kesalahan tipe *over segmentation*. (a) Bangunan pada model, (b) Bangunan pada foto udara

Kesalahan kedua adalah *under segmentation* yang ditunjukkan pada Gambar 4.19. Kesalahan ini terjadi saat model yang dihasilkan tidak sesuai dengan objek asli dikarenakan melakukan generalisasi saat segmentasi. Bentuk yang kompleks menjadi sederhana karena *under segmentation* ini. Pada Gambar 4.19 seharusnya bangunan tersebut memiliki tujuh *roof plane*. Tetapi dalam model terbentuk hanya empat *roof plane*. Solusi untuk mengatasi kesalahan ini adalah melakukan segmentasi yang lebih detail. Tidak hanya menggambar kotak pada bangunan tersebut tetapi juga menggambar segmen yang ditunjukkan oleh lingkaran putih agar berbentuk *roof plane* yang sesuai dengan objek aslinya. Kesalahan ketiga adalah *wrong direction*. Dapat dilihat pada Gambar 14. Kesalahan ini terjadi saat model yang dihasilkan tidak sesuai dengan objek asli dikarenakan arah miring dari atapnya berbeda. Atap yang seharusnya miring dengan arah depan belakang menjadi miring dengan arah kiri kanan (lihat panah

berwarna putih). Kesalahan ini hanya ditemui pada atap bertipe pelana. Sedangkan untuk limas maupun yang lain tidak ditemui kesalahan ini. Kemungkinan besar kesalahan ini disebabkan oleh algoritma perangkat lunak. Dalam memodelkan tipe atap penting untuk mengidentifikasi *slope* dan *aspect* terlebih dahulu guna mengetahui kemiringan dan arah dari atap. Pada perangkat lunak terdapat parameter ROOFDIR (*roof direction*) yang merupakan penyederhanaan dari analisis slope dan aspect. Saat memasukkan nilai manual untuk memperbaiki bentuk atap, seharusnya model atap dapat berubah. Namun pada kesalahan *wrong direction* ini, meski sudah input nilai untuk koreksi manual model atap tetap tidak berubah. Hal ini bisa menjadi bahan evaluasi dan masukan bagi pengembang perangkat lunak untuk memperbaiki lagi algoritma pemodelan atap.

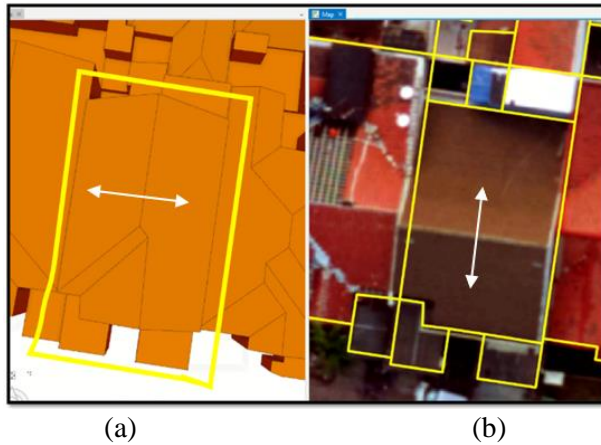


Gambar 4.21 Contoh kesalahan tipe *under segmentation*. (a) Bangunan pada model, (b) Bangunan pada foto udara

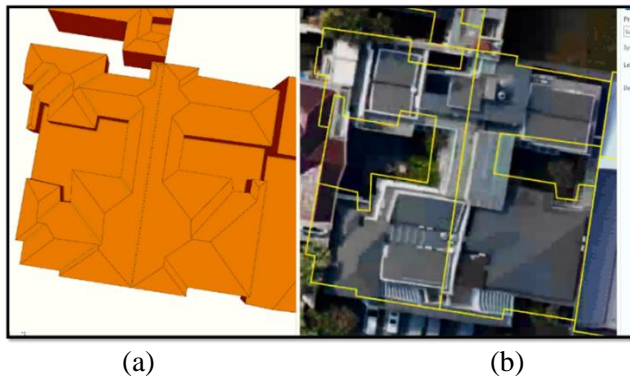
Kesalahan terakhir adalah atap yang sangat kompleks sehingga sulit untuk dimodelkan secara general. Gambar 4.21 merupakan contoh kompleksitas atap. Kesalahan ini sebenarnya sama dengan *under segmentation*, hanya saja pada kesalahan ini terjadi pada bangunan yang memiliki tipe atap lebih dari satu sehingga sangat kompleks. Banyak bagian dari *roof plane* tidak termodelkan dengan baik karena kurangnya segmentasi. Cara



untuk mengatasi kesalahan ini adalah dengan melakukan segmentasi ulang yang lebih detail sehingga model yang dihasilkan lebih akurat.



Gambar 4.22 Contoh kesalahan tipe *wrong direction* (a) Bangunan pada model, (b) Bangunan pada foto udara



Gambar 4.23 Contoh bangunan dengan atap yang sangat kompleks (a) Bangunan pada model, (b) Bangunan pada foto udara

#### 4.12.2 Kesulitan Pemodelan

Dari segi kesulitan dalam memodelkan bangunan, area permukiman lebih mudah dibandingkan perumahan dan gedung tinggi. Tingkat yang paling sulit adalah saat memodelkan gedung tinggi. Hal ini terjadi karena gedung tinggi memiliki struktur atap yang lebih kompleks dibandingkan perumahan dan permukiman. Biasanya gedung tinggi tidak memiliki tipe atap yang spesifik serta unik sehingga perlu adanya segmentasi lebih detail. Contoh gedung tinggi dapat dilihat pada gambar 4.22. Sedangkan perumahan memiliki tipe atap yang sama dalam satu atau lebih klaster, namun atap perumahan juga memiliki *roof plane* yang lebih banyak dan kompleks. Contoh perumahan dapat dilihat pada gambar 4.23. Sedangkan permukiman kebanyakan memiliki atap tipe datar sehingga mudah untuk dimodelkan. Contoh permukiman dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Bangunan gedung tinggi yang memiliki struktur atap kompleks dan unik sehingga sulit untuk dimodelkan.



Gambar 4.25 Bangunan perumahan yang memiliki tipe atap limas dalam beberapa klaster.



Gambar 4.26 Bangunan permukiman yang memiliki tipe atap datar dan beberapa pelana dan limas.

***“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”***

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Berdasarkan uji akurasi yang dilakukan, ketelitian geometri keliling yang dihasilkan sebesar 0,92 m dari 2 m. Ketelitian luas yang dihasilkan sebesar 0,34% kesalahan luas dari toleransi 2%. Sedangkan ketelitian LOD level 2 sebesar 86,07% dari toleransi 85%. Uji akurasi terhadap geometri dan tingkat LOD menunjukkan bahwa metode semi otomatis dapat menghasilkan model kota tiga dimensi yang cukup akurat.
2. Penerapan *roof rule* pada bangunan di area penelitian menghasilkan lima tipe atap, yaitu pelana (*gable*), limas (*hip*), datar (*flat*), kubah (*dome*), dan mansard. Tipe atap yang dominan adalah tipe datar, pelana, dan limas. Sedangkan tipe kubah dan mansard hanya sebagai pelengkap. Bentuk atap yang dihasilkan terbatas pada pilihan yang terdapat pada perangkat lunak. Model yang dihasilkan berupa 955 bangunan, 2.506 segmentasi atap, 2.866 pohon, 476 lampu jalan, dan 74 ruas jalan. Gedung tinggi jenis apartemen adalah tipe bangunan yang sulit untuk dimodelkan. Selanjutnya adalah perumahan kemudian permukiman. Tingkat kesulitan diukur berdasarkan kompleksitas atap masing-masing bangunan. Kesalahan yang terjadi dalam pemodelan berasal dari kurang atau lebihnya segmentasi atap. Hal ini bisa diatasi dengan mengulang segmentasi atap menggunakan foto udara.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan algoritma segmentasi atap berdasarkan ketinggian yang lebih akurat.

2. Menentukan *threshold* luas bangunan yang dieliminasi berdasarkan resolusi data yang digunakan.
3. Melakukan validasi dengan menghitung volume.
4. Menambahkan aplikasi penggunaan model kota 3D untuk *disaster mitigation* (banjir), energi terbarukan (*potential solar power*), dan *proposed development*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hanbali, N., Fedda, I., Awamleh, B., dan Dergham, M. 2006. *“Building 3D GIS Model of a University Campus for Planning Purposes: Methodology and Implementation aspects”*. Map Middle East. March 26-29.
- Atmaja, A.A., Prasetyo, Y., Haniah, H.. 2016. “Deteksi Objek Berbahaya dan Pemodelan 3D Jaringan Kelistrikan Menggunakan Teknologi LiDAR (Studi kasus: Koridor jaringan kelistrikan di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia)”. *Jurnal Geodesi Undip* 5:57-67.
- Aiman, A.A., Abdullah, A., Noor, N.M., 2018. *“Constructing and Modelling 3D GIS Model in City Engine for Traditional Malay City”*. *Proceedings of the Second International Conference on the Future of ASEAN (ICoFA)* 2:285-293.
- Awrangjeb, M., Zhang, C., Fraser, C. 2013. *“Automatic extraction of building roofs using LiDAR data and multispectral imagery”*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 83: 1–18.
- Batara, Y.D. 2012. “Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Visualisasi Wilayah Kota”. *Jurnal POROS TEKNIK* 4: 14-18.
- Biljecki, F. 2017. *Level of detail in 3D city models*. PhD thesis, TU Delft, 353 pp. doi:10.4233/uuid:f12931b7-5113-47ef-bfd4-688aae3be248.
- Bimasena, A.N. 2013. *“Dasar-Dasar Pengukuran (Waterpassing)”*. Yogyakarta: STPN.
- Carter, W., Shrestha, R., Tuell, G., Bloomquist D., Sartori, M. 2001. *“Airborne Laser Swath Mapping Shines New Light on Earth’s Topography”*. *EOS* 82 (46): 549–64.
- Effendi, Z. 2017. Gaet Investor, Surabaya Siapkan Foto Udara dan Peta Lidar. [news.detik.com/berita-jawa-timur/d-3406572/gaet-investor-surabaya-siapkan-foto-udara-dan-peta-lidar](https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-3406572/gaet-investor-surabaya-siapkan-foto-udara-dan-peta-lidar) diakses pada Selasa, 25 Februari 2020.

- Esri. 2012. *Storing Lidar Data*. 2012. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/las-dataset/storing-lidar-data.htm>.
- Esri. 2015. *What is Lidar Data?*. 2015. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/las-dataset/what-is-lidar-.htm>.
- Featherstoe, W., Khun, M. 2010. *Height systems and vertical datums: A review in the Australian context*. Curtin University.
- Flamanc D., Maillet G., Jibrini H. 2003. "3-D City models: an operational approach using aerial images and cadastral maps". ISPRS Archives Vol. XXXIV Part 3/W8. Munich. 17.-19.Sept.
- Hu, X., Xuefeng L., Zhenming H., Jiahua, Z.. 2013. "Batch Modeling Of 3D City Based on Esri CityEngine". *International Communications Satellite Systems Conference in Shanghai, China*.
- Huang X., Kwoh L.K., 2008. "Monoplotting- A semi-automated approach for 3-D reconstruction from single satellite image". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI. Part B3b. Beijing.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abell'an, A., Derron, M.-H., Loye, A., Metzger, R. and Pedrazzini, A., 2010. "Use of LiDAR in Landslide Investigations: a Review". *Natural Hazards* 61(1), pp. 528.
- Juniastuti, S, Hariadi M, Reza, F.R. 2008. *View-Dependent Level Of Detail (LOD) Untuk Penggambaran Terrain*. Seminar on *Intelligent Technology and Its Applications*. Surabaya.
- Kennie, T.J., dan Petrie, G. 1990. *Engineering Survey Technology*. Blackie, Glasgow.
- Leardi, L. 2017. The 10 Different Ways to Measure a Skyscraper's Height . <https://www.archdaily.com/881090/the-10-different-ways-to-measure-a-skyscrapers-height>. Diakses pada 21 Juli 2020.

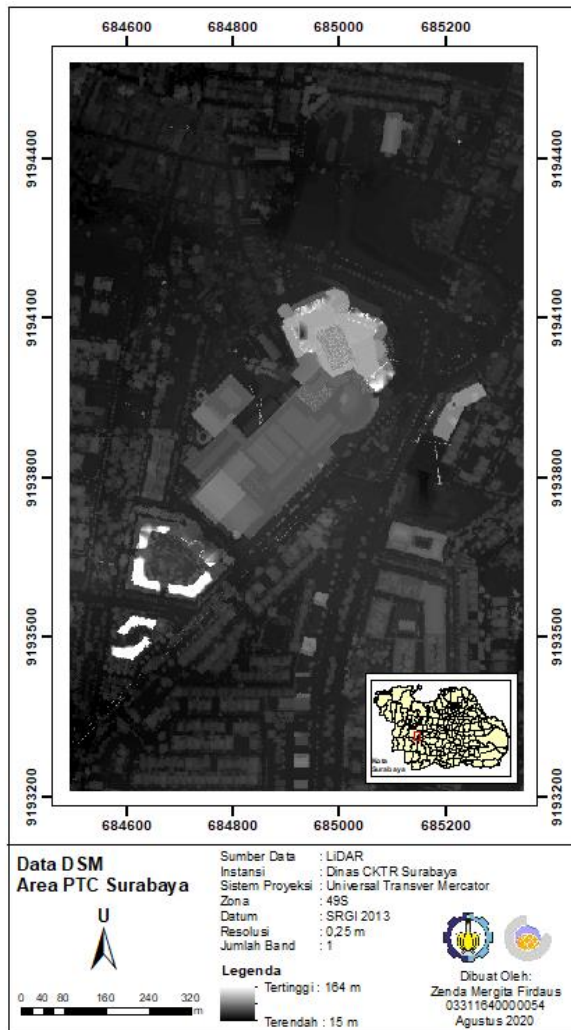


- Naufatunnisa, S. 2017. *Pemodelan 3 Dimensi Candi Wringinlawang Menggunakan Metode Structure From Motion untuk Dokumentasi Cagar Budaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Noviana, D.E., Sunaryo, K.D., Noraini, A. *Pembuatan Visualisasi 3D City Model dengan Memanfaatkan Data LiDAR*. Malang: Institut Teknologi Nasional.
- Open Geospatial Consortium (OGC), 2012. “OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard”.
- Parish, Y.I.H., Muller, P. 2001. *Procedural Modeling of Cities*. Zurich: ETH Zurich.
- Petrie, G., dan Toth, C.K. 2009. *Introduction to Laser Ranging, Profiling, and Scanning*. In *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, diedit oleh Jie Shan dan Charles K. Toth, 1:1–27. Boca Raton, Florida: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420051438.ch1>.
- Pribadi, C.B., Handayani, H.H., Rachmawan, F.E. 2016. “Survei Tiga Dimensi Tugu Pahlawan Metode Terrestrial Laser Scanning untuk Visualisasi dan Analisa Ketinggian Bangunan (Studi Kasus: Tugu Pahlawan, Surabaya, Jawa Timur)”. *Jurnal Geoid*. 11(2): 184-189.
- Schenk, T. 2005. *Introduction to Photogrammetry*. Columbus, Ohio: The Ohio State University.
- Singh, S.P. 2013. “Applications of Virtual 3D City Models”. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,. Volume XL-2/W2, *ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop*
- Spesifikasi Teknis Peraturan Menteri Negara Agraria (PMNA), Kepala Badan Pertanahan Nasional (BPN) Nomor 3 Tahun 1997 tentang Toleransi Persentase Beda Luas.
- Suryo, M.S. 2017. “Analisa Kebutuhan Luas Minimal pada Rumah Sederhana Tapak di Indonesia”. *Jurnal Permukiman*. 12(2): 116-123.

- Suwandi, L. 2017. Memanfaatkan Data 3D untuk Perencanaan Kota. <https://medium.com/@lusisuwandi/memanfaatkan-data-3d-untuk-perencanaan-kota-60474446e3bf>, diakses pada 3 Januari 2017.
- Tian, Y. Gerke, M. Vosselman, G. Zhu, Q. 2010. “*Knowledge-based building reconstruction from terrestrial video sequences*”. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 65: 395–408.
- Turksever, S. 2015. *3D Modeling with City Engine*. Turki: Istanbul Technical University. DOI: 10.13140/RG.2.2.30548.30085
- Ulhaq, D.N., Soeksmantono, B., Wikantika, K. 2017. Pemetaan Bangunan Tiga Dimensi Untuk Pemodelan Jalur Evakuasi Darurat. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Yuwono, Pratomo, D.G., Cahyono, A.B., Mulyono, Y.E.R. 2018. “Analisis Pemodelan 3D Candi Jawi Menggunakan Wahana Quadcopter dan Terrestrial Laser Scanner”. *Jurnal Geoid.* 13(2): 207-214.
- Zheng, Y., Weng, Q., dan Zheng, Y. 2017. “*A Hybrid Approach for Three-Dimensional Building Reconstruction in Indianapolis from LiDAR Data*”. *Remote Sensing Journal* 9: 310.

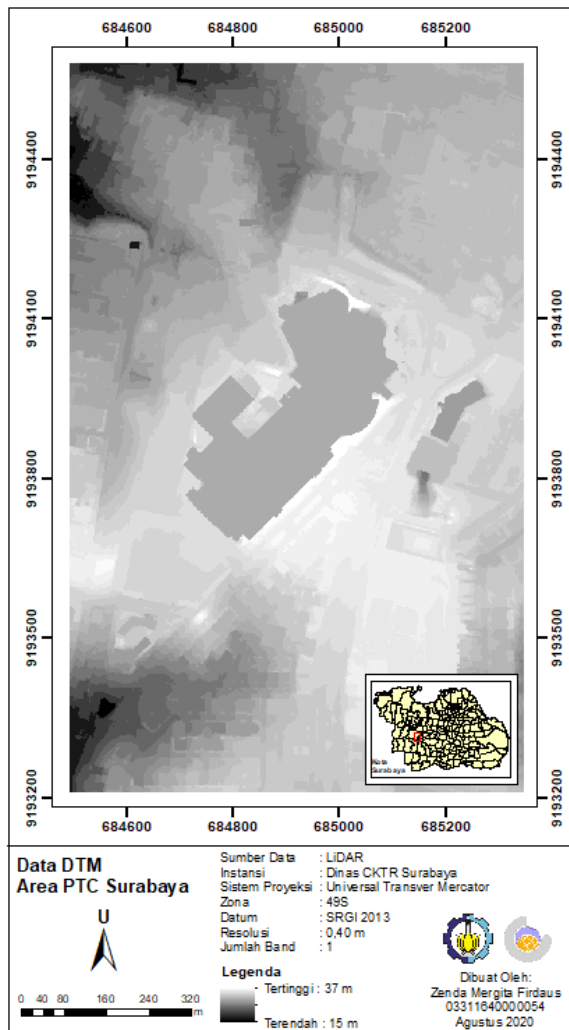
## LAMPIRAN

### 1. Data DSM



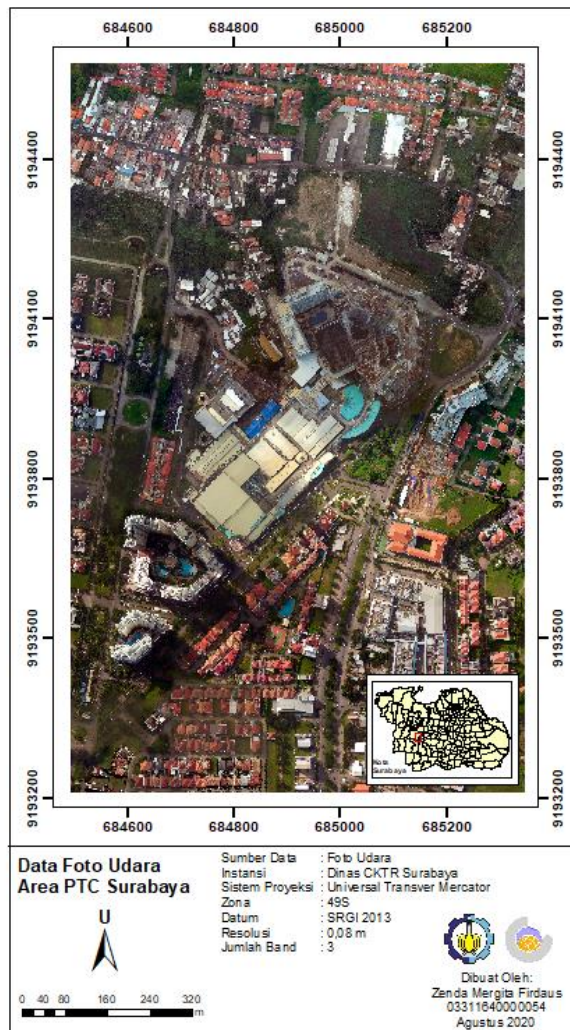
Gambar 1. Data DSM Area PTC Surabaya

## 2. Data DTM



Gambar 2. Data DTM Area PTC Surabaya

### 3. Data Foto Udara



Gambar 3. Data Foto Udara Area PTC Surabaya

4. Hasil Peta Kota 3D Area *Pakuwon Trade Center* Surabaya

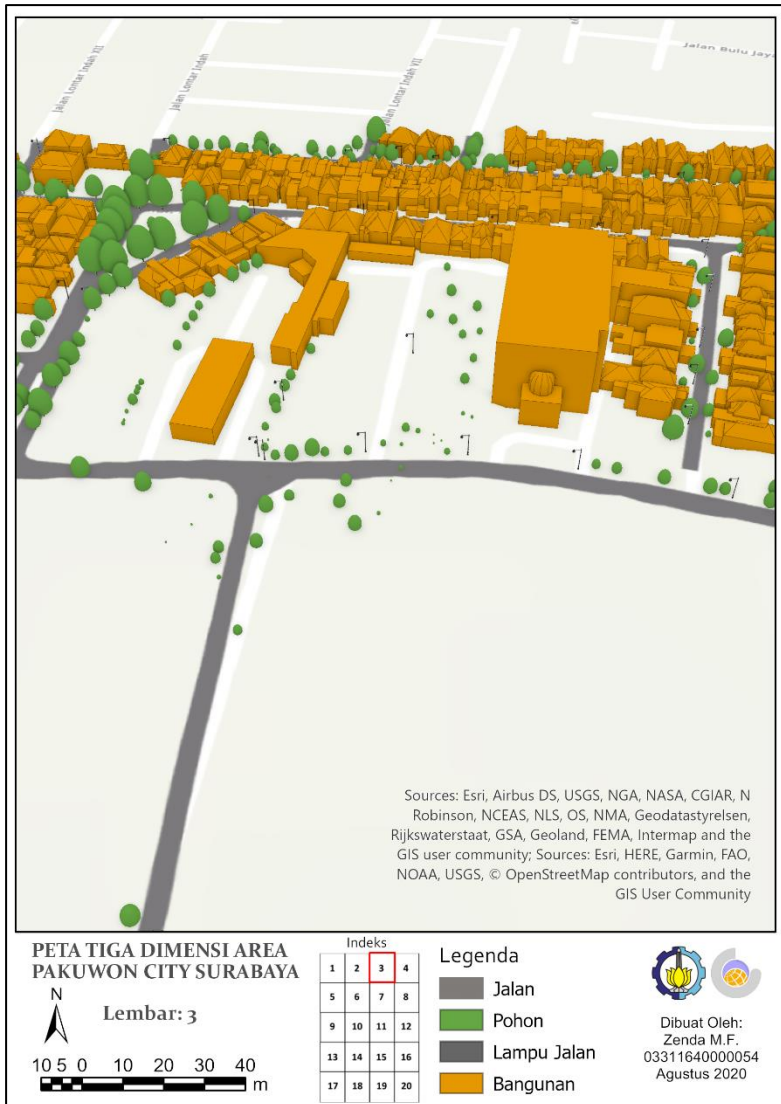


Gambar 4. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 1



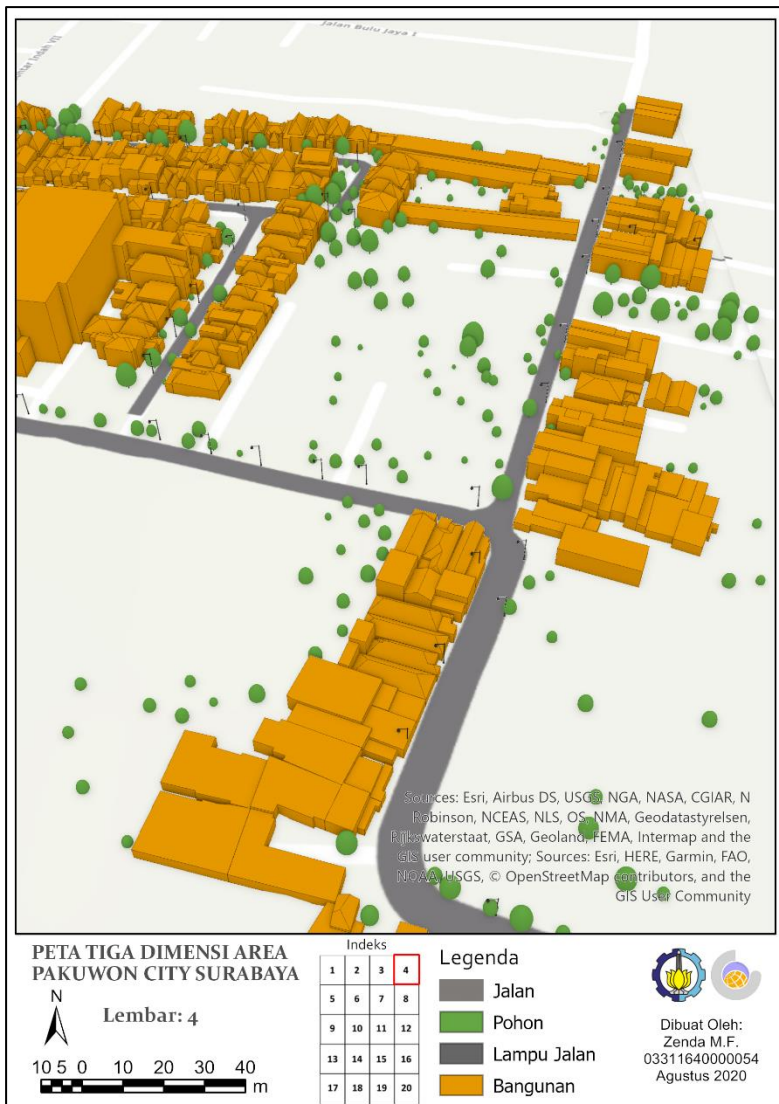
Gambar 5. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 2





Gambar 6. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 3





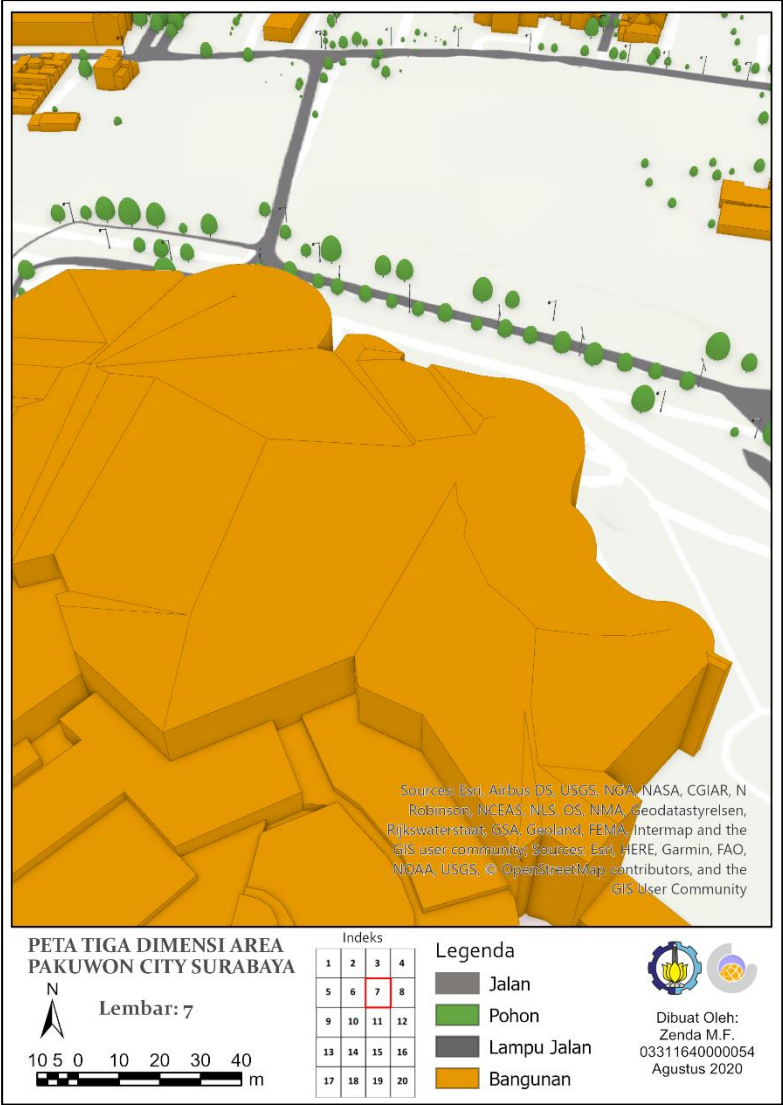
Gambar 7. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 4



Gambar 8. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 5



Gambar 9. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 6



Gambar 10. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 7

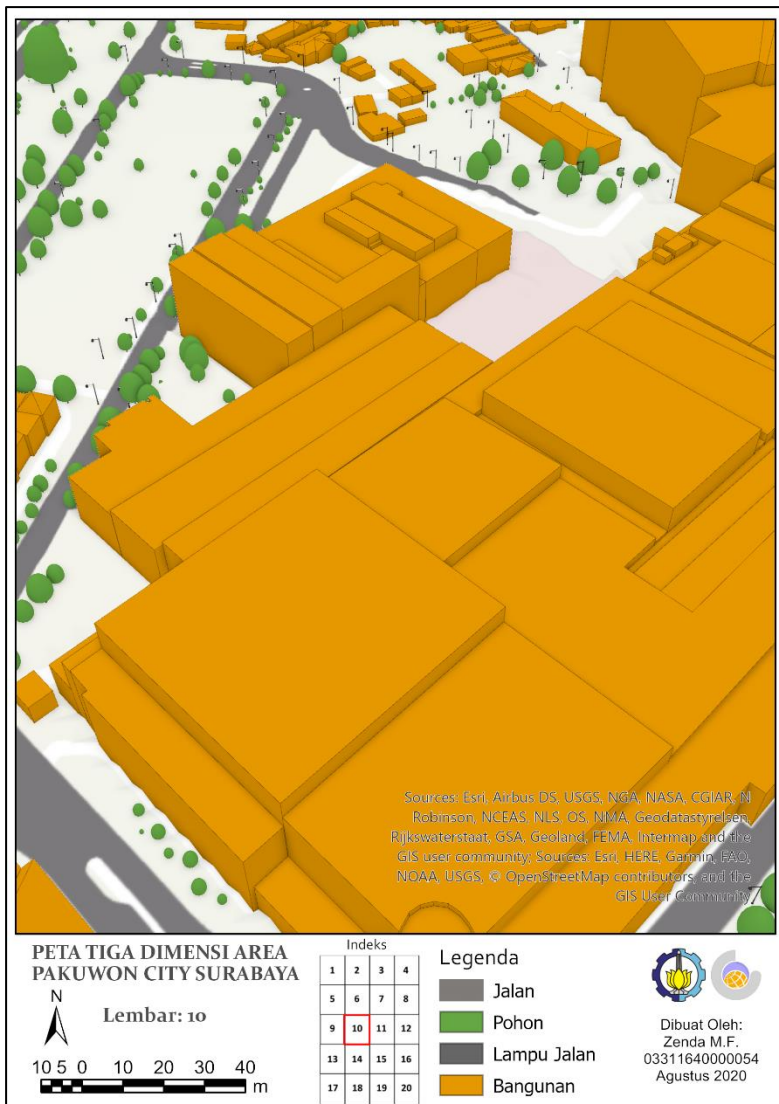


Gambar 11. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 8





Gambar 12. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 9



Gambar 13. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 10

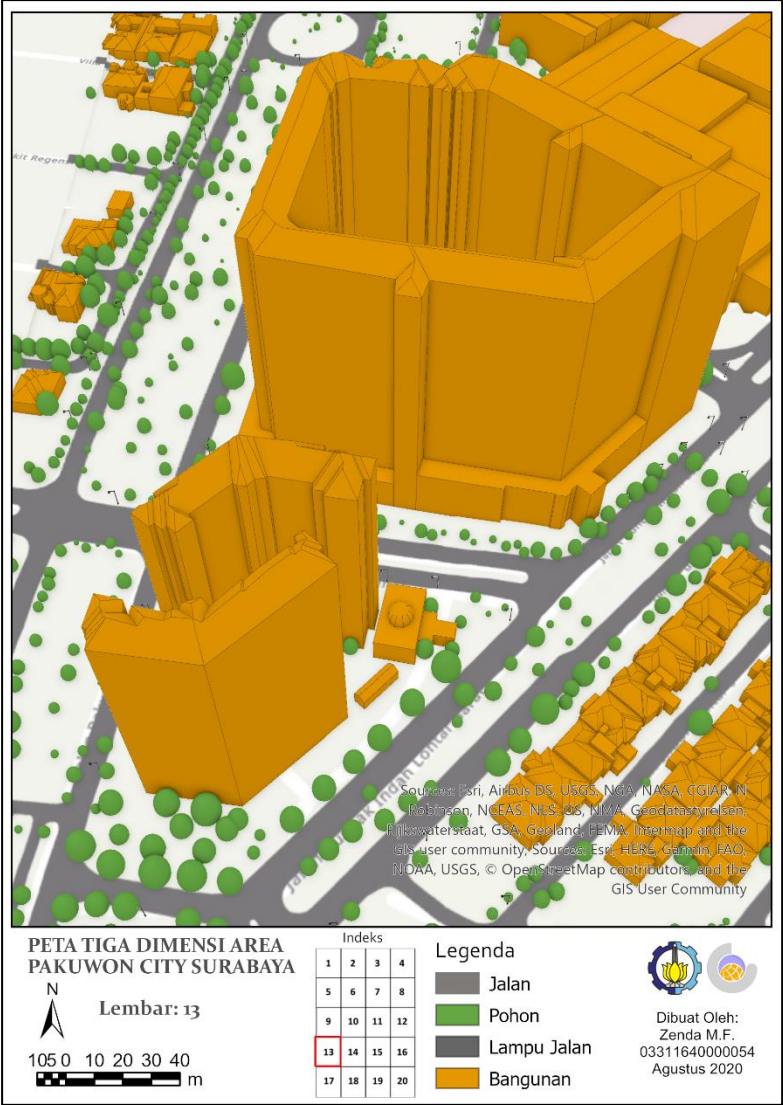


Gambar 14. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 11





Gambar 15. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 12



Gambar 16. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 13



Gambar 17. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 14



Gambar 18. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 15

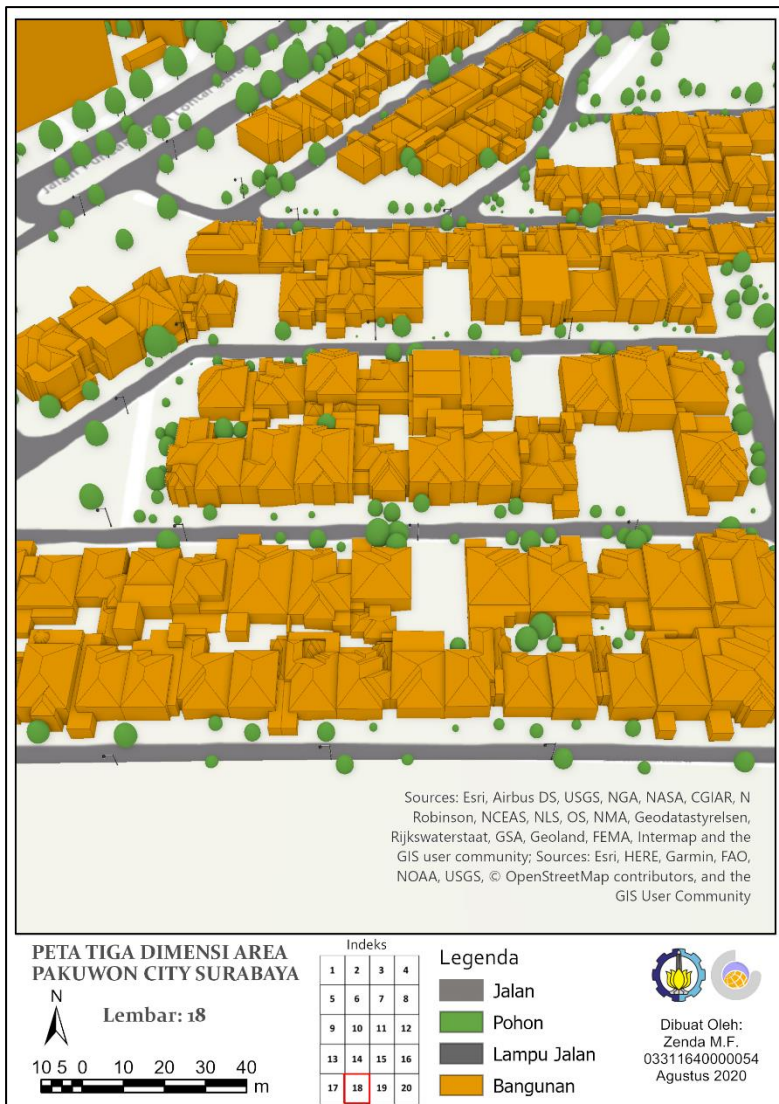




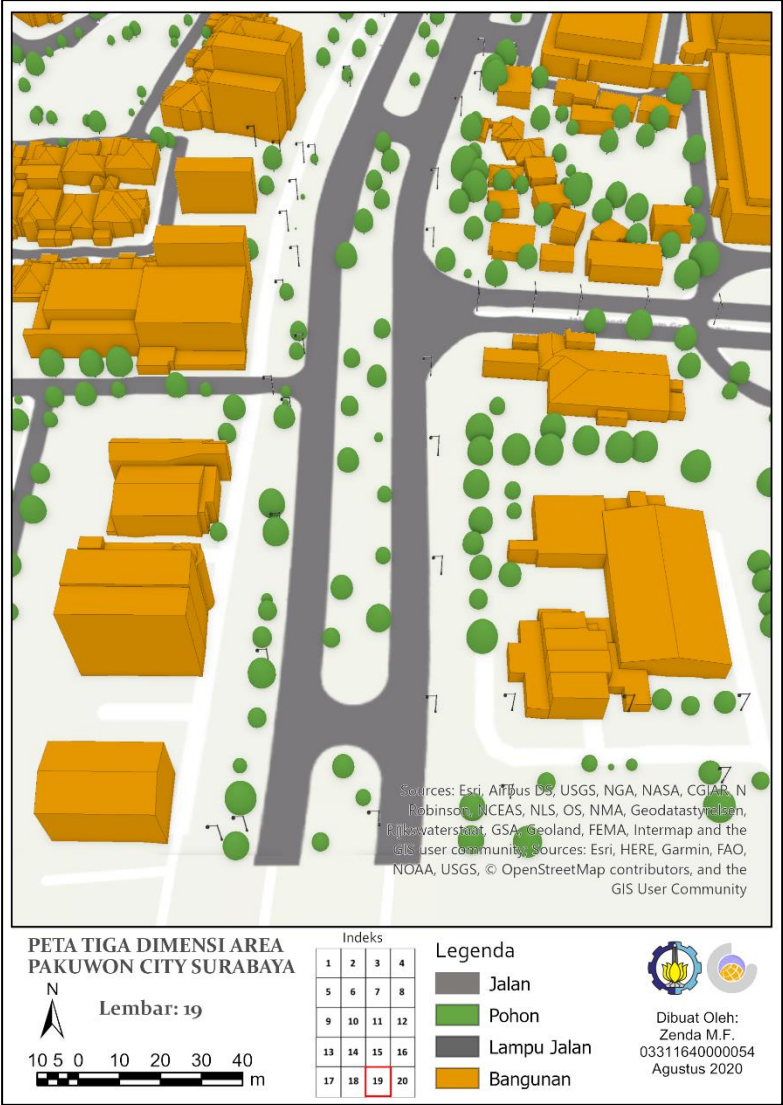
Gambar 19. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 16



Gambar 20. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 17



Gambar 21. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 18



Gambar 22. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 19





Gambar 23. Peta Kota 3D Area PTC Lembar 20

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 14 Mei 1999, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Aisyiyah 51, SDN Sambikerep II, SMPN 20 dan SMAN 11, Surabaya. Penulis melanjutkan kuliah S-1 di Teknik Geomatika – FTSPK ITS pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN. Penulis mendapatkan Beasiswa Bidikmisi dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi. Di Teknik Geomatika, Penulis memilih bidang

kajian Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Selama perkuliahan, Penulis aktif berorganisasi di JMMI ITS, BEM ITS, BPM dan GIS HIMAGE ITS. Pada tahun kedua, Penulis mendapatkan Beasiswa Mutiara yaitu beasiswa pembinaan dari LMI (Lembaga Manajemen Infaq) selama satu tahun. Pada tahun ketiga, Penulis mendapatkan Beasiswa Tahfidz dari Ma'had Ahlul Qur'an Surabaya selama tiga tahun. Penulis pernah menjadi Juara 2 Lomba MHQ 1 Juz di ITS. Penulis juga mengikuti beberapa lomba karya tulis ilmiah dan dua diantaranya berhasil masuk sebagai finalis. Pertama, pada *IOT Competition* yang dilaksanakan oleh Universitas Andalas, Padang. Kedua, pada *Historia Creativity Competition* yang diselenggarakan oleh Universitas Negeri Yogyakarta. Pada tahun ketiga, peneliti mendapat kesempatan untuk mengikuti *Research Internship Program* selama satu bulan di Universiti Teknologi Malaysia, Johor. Selama disana penulis belajar tentang cara pengolahan data LiDAR dan aplikasinya yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Pada tahun keempat, Penulis mendapatkan kesempatan untuk mengikuti program *fast track* yang memungkinkan mengambil pascasarjana S2 Teknik Geomatika ITS saat masih S1.